



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/08.16.19.10-TDI

**ÍNDICE DE VALORIZAÇÃO DA TERRA E
DESMATAMENTO EM UMA REGIÃO DE FRONTEIRA
AGROPECUÁRIA NA AMAZÔNIA: REGIÃO DE NOVO
PROGRESSO, PARÁ**

Mateus de Souza Macul

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação em
Sensoriamento Remoto, orientada
pelos Drs. Maria Isabel Sobral
Escada, e Camilo Daleles Rennó,
aprovada em 20 de agosto de 2019.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3TRMBNH>>

INPE
São José dos Campos
2019

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GBDIR)

Serviço de Informação e Documentação (SESID)

CEP 12.227-010

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/7348

E-mail: pubtc@inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):

Presidente:

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CGCPT)

Membros:

Dra. Carina Barros Mello - Coordenação de Laboratórios Associados (COCTE)

Dr. Alisson Dal Lago - Coordenação-Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CGCEA)

Dr. Evandro Albiach Branco - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (COCST)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial (CGETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação-Geral de Observação da Terra (CGOBT)

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação - (CPG)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Ivone Martins - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Cauê Silva Fróes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/08.16.19.10-TDI

**ÍNDICE DE VALORIZAÇÃO DA TERRA E
DESMATAMENTO EM UMA REGIÃO DE FRONTEIRA
AGROPECUÁRIA NA AMAZÔNIA: REGIÃO DE NOVO
PROGRESSO, PARÁ**

Mateus de Souza Macul

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação em
Sensoriamento Remoto, orientada
pelos Drs. Maria Isabel Sobral
Escada, e Camilo Daleles Rennó,
aprovada em 20 de agosto de 2019.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3TRMBNH>>

INPE
São José dos Campos
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Macul, Mateus de Souza.

M139i Índice de valorização da terra e desmatamento em uma região de fronteira agropecuária na Amazônia: região de Novo Progresso, Pará / Mateus de Souza Macul. – São José dos Campos : INPE, 2019.

xxii + 119 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/08.16.19.10-TDI)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2019.

Orientadores : Drs. Maria Isabel Sobral Escada, e Camilo Daleles Rennó.

1. Análise espacial. 2. Degradação florestal. 3. Mercado de terra. 4. Governança de terra. 5. Desmatamento. I.Título.

CDU 528.8:504.22



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aluno (a): **Mateus de Souza Macul**

Título: "ÍNDICE DE VALORIZAÇÃO DA TERRA E DESMATAMENTO EM UMA REGIÃO DE FRONTEIRA AGROPECUÁRIA NA AMAZÔNIA: REGIÃO DE NOVO PROGRESSO, PARÁ"

Aprovado (a) pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de **Mestre** em

Sensoriamento Remoto

Dr. Antonio Miguel Vieira Monteiro



Presidente / INPE / SJCampos - SP

() Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado () Reprovado

Dra. Maria Isabel Sobral Escada



Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

() Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado () Reprovado

Dr. Camilo Daleles Rennó



Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

() Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado () Reprovado

Dr. Claudio Aparecido de Almeida

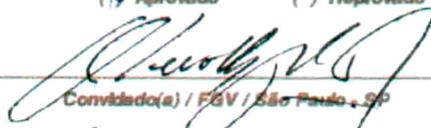


Membro da Banca / INPE / São José dos Campos - SP

() Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado () Reprovado

Dr. Frederico Roman Ramos



Convidado(a) / FAPV / São Paulo - SP

Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado () Reprovado

Este trabalho foi aprovado por:

() maioria simples

unanimidade

São José dos Campos, 20 de agosto de 2019

A Mário Pereira de Souza

“A Arte de Perder

*A arte de perder não é nenhum mistério;
Tantas coisas contêm em si o acidente
De perdê-las, que perder não é nada sério.*

*Perca um pouquinho a cada dia. Aceite, austero,
A chave perdida, a hora gasta bestamente.
A arte de perder não é nenhum mistério.*

*Depois perca mais rápido, com mais critério:
Lugares, nomes, a escala subsequente
Da viagem não feita. Nada disso é sério.*

*Perdi o relógio de mamãe. Ah! E nem quero
Lembrar a perda de três casas excelentes.
A arte de perder não é nenhum mistério.*

*Perdi duas cidades lindas. E um império
Que era meu, dois rios, e mais um continente.
Tenho saudade deles. Mas não é nada sério.*

*- Mesmo perder você (a voz, o riso etéreo
que eu amo) não muda nada. Pois é evidente
que a arte de perder não chega a ser mistério
por muito que pareça (Escreve!) muito sério.”*

*Elizabeth Bishop
(tradução de Paulo Henriques Britto)*

"Filósofos se limitaram a interpretar o mundo de diversas maneiras; mas o que importa é transformá-lo"

Karl Marx

AGRADECIMENTOS

Agradeço...

Aos meus orientadores Dra. Maria Isabel Sobral Escada e Dr. Camilo Daleles Rennó, que nessa trajetória do mestrado não mediram esforços para que eu avançasse mais um passo no caminho da pesquisa, com paciência, perseverança e empatia.

A minha namorada Ana Carolina por ser quem ela é e estar ao meu lado sempre, tornando os momentos, os melhores.

Ao Afonso Henrique Moraes Oliveira e ao Danilo Avancini Rodrigues, pelo imensurável apoio não só nessa trilha, que começamos juntos e terminamos juntos, mas também na vida.

A todos os moradores da “Casa Latina”: Rogério Flores Jr., Miguel Trejo, Dairo Cuellar e José Alberto de Sá, que, na fraternidade, constituímos um lar juntos.

Aos meus pais, irmãos, sobrinhos, padrinhos e familiares, que em nome da minha mãe Raquel, agradeço por sempre acreditar em mim e pelo suporte emocional incondicional.

A Banda Espectral (Denis, Thulio e Caio) que me manteve conectado à música, me preenchendo de ânimo a cada passo.

Ao INPE e todos os seus funcionários que o coloca esta instituição na vanguarda da ciência mundial, fortalecendo a ciência brasileira pelo seu programa de pós-graduação.

Aos colegas da sala ASA 55 que no dia-a-dia eram a primeira fonte de ajuda.

Aos colegas da turma de mestrado pelos momentos de estudo e momentos de festa.

Ao laboratório de Investigação em Sistemas Sócio-ambientais (LISS) por proporcionar a ciência colaborativa.

Ao suporte do projeto MSA-BNDES (processo: 1022114003005), da CAPES (Código de financiamento 001) e do CNPq pela bolsa de mestrado.

A Alessandra Martão, cujo profissionalismo foi essencial na trajetória do mestrado.

A todos os professores, cujo os esforços no ensino me impulsionou até aqui.

RESUMO

O desmatamento na Amazônia tem sido objeto de investigação em diversos estudos e resulta em diferentes impactos ambientais em escalas local e global. Esses estudos procuram explicar este fenômeno relacionando-o com fatores ligados à infraestrutura, às condições ambientais, à economia, demografia e à estrutura fundiária, atrelando este processo, principalmente ao crescimento econômico da região. No entanto, observou-se que no período de 2004 a 2012, principalmente, a produção agropecuária na Amazônia aumentou enquanto o desmatamento reduziu-se, sugerindo um desacoplamento entre esses dois fatores. Nas áreas de fronteira agropecuária da Amazônia, entretanto, estudos indicam que os sistemas de produção agropecuários, principalmente aqueles voltados para a pecuária extensiva de corte, aumentam sua produção, expandindo sua área sobre a floresta, demandando cada vez mais a incorporação de novas áreas. Nestas regiões “a terra” é vista como mercadoria, que é produzida a partir da conversão de áreas florestadas para terras com pasto ou agrícola. Somado a isso, o controle e a regularização das terras são pouco efetivos nessas áreas, sendo frequentes as práticas de apropriação ilícita de terras públicas, utilizadas para maximizar os ganhos nos sistemas de produção agropecuários tipicamente extensivos. Assim, este trabalho analisa o desmatamento do período de 2014 a 2017 em uma região de fronteira agropecuária em Novo Progresso, localizada na porção sudoeste do Pará, e investiga suas relações com fatores ligados ao mercado de terra e à situação fundiária, além de fatores ambientais, de infraestrutura, sócio-econômicos, entre outros. Para atender a esse objetivo, utilizou-se um modelo de regressão estatística linear múltipla e variáveis explicativas, entre outras, relacionadas com aspectos fundiários por meio do uso de dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR), dados de embargo ambiental e de um indicador produzido para expressar a valorização da terra. Uma grade celular de 2 x 2 km foi gerada para representação espacial das variáveis independentes e dependente utilizadas no modelo. Um Índice de Valorização da Terra (IVT) foi gerado para a área de estudo, por meio do Processo Analítico Hierárquico (AHP), e foi submetido a um teste de sensibilidade para avaliar sua robustez. O índice se mostrou robusto e condizente com as informações coletadas em campo e na literatura, mostrando que as terras próximas ao eixo da Br-163 e com grande proporção de áreas desmatadas são as mais valorizadas. O modelo de regressão estatística resultou em um poder explicativo de 0,5 (R^2), cujos resíduos atenderam aos pressupostos de normalidade. O modelo apontou relações significativas para as variáveis associadas à questão da terra, como o IVT. Esse índice apresentou relação inversa com a variável dependente, isto é, áreas com menor valor de IVT estavam associadas às áreas de maior desmatamento e vice-versa. A variável obtida com os dados do CAR, derivada da sobreposição de imóveis, e utilizada como *proxy* para potenciais processos de disputa de terra, apresentou relação direta com o desmatamento, assim

como as áreas embargadas pelo IBAMA. Esses resultados evidenciam a importância da inclusão de variáveis associadas ao mercado de terras e à situação fundiária nos modelos utilizados para explicar o desmatamento em áreas de fronteira agropecuária da Amazônia, gerando informações relevantes para as políticas de controle e combate ao desmatamento da região.

Palavras-chave: Análise espacial. Degradação florestal. Mercado de terra. Governança de terra. Desmatamento. Cadastro Ambiental Rural.

LAND VALORISATION INDEX AND DEFORESTATION IN AN AMAZON REGION OF AGRICULTURAL FRONTIER: REGION OF NOVO PROGRESSO, PARÁ

ABSTRACT

Amazon Deforestation has been the subject of research in several studies, and its consequences result in different environmental impacts at local and global scales. These studies aim at explaining this phenomenon through factors related to infrastructure, environmental conditions, the economy, demographics and land tenure, linking this process especially to the region's economic growth. However, we observed that from 2004 to 2012, mainly the agricultural production increased in the Amazon while deforestation decreased, suggesting a decoupling between these two factors. Yet, in the Amazonian agricultural frontier, studies indicate that agricultural production systems, especially those focused on extensive beef cattle raising, have increased their production, expanding into the forest covered areas, demanding more and more land. Over these regions "land" is seen as a commodity, produced from the conversion of forested areas into pasture or agricultural grounds. In addition, land control and regularization are ineffective in this context, with illicit public land grabbing practices being used to maximize gains in typically extensive agricultural production systems. Hence, this paper analyses deforestation from 2014 to 2017 in an agricultural frontier region in Novo Progresso, located in the southwestern portion of Pará, and investigates its relationship with factors related to the land market and land tenure, as well as environmental, infrastructure, socio-economic and others factors. Seeking to reach this objective, a multiple linear statistical regression model and explanatory variables were used, related to land aspects through the use of Brazilian Rural Environmental Registry (CAR) data, environmental embargo data and an indicator produced to express the valorisation of the land. A 2 x 2 km cell grid was generated for the spatial representation of the independent and dependent variables used in the model. A Land Valorisation Index (IVT) was generated for the study area through the Analytic Hierarchy Process (AHP), and its robustness was assessed with a sensitivity test. The index was robust and consistent with the information collected in the field and in the literature, showing that the lands near the federal road Br-163 axis and with a large proportion of deforested areas are the most valued. The statistical regression model resulted in an explanatory power of 0.5 (R^2), which residues met the normality requirements. The model pointed out significant relationships for variables associated with the land issue, such as the IVT. This index showed an inverse relation with the dependent variable, what means, areas with lower IVT values were associated with portions of greater deforestation. The variable obtained from CAR data, derived from the overlapping properties, and used as

a proxy for potential land dispute processes, was directly related to deforestation, as well as the embargoed areas by IBAMA. These results highlight the importance of including variables associated with the land market and land tenure in the models used to explain deforestation in Amazonian agricultural frontier, generating relevant information for the region's policies to control and combat deforestation.

Keywords: Spatial analysis. Forest degradation. Land market. Land tenure. Deforestation. Brazilian Rural Environmental Registry.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1: Evolução histórica do desmatamento (km ²) e da População Residente (milhões de habitantes) na Amazônia Legal.	8
Figura 2.2: Evolução do preço de terras no estado do Pará.	15
Figura 3.1: Mapa da área de estudo com desmatamento até o ano de 2014. .	29
Figura 3.2: Taxas de desmatamento anual e PIB agropecuário em Novo Progresso, PA.	31
Figura 3.3: Evolução da área de pastagem e tamanho do rebanho de gado em Novo Progresso, PA.	33
Figura 3.4: Exemplos de sistemas agropecuários.	34
Figura 3.5: Fluxograma geral da metodologia para o desenvolvimento do modelo de regressão.	39
Figura 3.6: Mapa com pontos e trajetórias da expedição de campo	40
Figura 3.7: Diagrama metodológico para a produção de dados de degradação florestal dos anos de 2012 e 2013 para complementação da série.	43
Figura 3.8: Diagrama metodológico para o cálculo das variáveis de mediana da distância	45
Figura 3.9: Dispersões entre a proporção de incremento de 2014 a 2017 e proporção de desmatamento até 2013 nas células antes (direita) e depois (esquerda) das restrições no espaço amostral.	56
Figura 4.1: Mapa das estradas atualizado para o ano de 2014.	62
Figura 4.2: Degradação florestal mapeada para os anos de 2012 e 2013.	63
Figura 4.3: Detalhe de degradação mapeada.	64
Figura 4.4: Fotos de exploração de madeira obtidas em campo.	65
Figura 4.5: Mapa e histograma de Índice de Valorização da Terra (IVT).	71
Figura 4.6: Dados utilizados para gerar variáveis que compõe o IVT.	72
Figura 4.7: Distância Interquartil (DIQ) das simulações de IVT.	73
Figura 4.8: Gráfico de dispersão entre DIQ e IVT	74
Figura 4.9: Mapa do espaço amostral e amostras utilizadas.	76
Figura 4.10: Gráficos da dispersão entre y' observado e y' predito, resíduos padronizados.	79
Figura 4.11: Gráficos de dispersão entre $EMB-pinv$ e $VS-pinv$ e histograma para o beta de $INC-d$	83
Figura 4.12: Gráficos de dispersão entre $CRT-d$ e $RIO-dinv$, $CRT-d$ e $TAOBIA$, $RIO-dinv$ e $TAOBIA$ e histograma para o beta de $D13-d$	85
Figura 4.13: Gráfico do histograma para o beta de $MPAR$	86

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1: Classes de mapeamento de uso e cobertura da terra utilizado pelo TerraClass.....	12
Tabela 2.2: Fatores que influenciam no preço da terra (Plata, 2006).....	16
Tabela 2.3: Principais contribuições das diferentes categorias de modelos de desmatamento.....	19
Tabela 2.4: Fatores utilizados para estudar o desmatamento na Amazônia	22
Tabela 3.1: Dados utilizados	35
Tabela 3.2: Premissas, limiares e dados usados para gerar cada variável.....	46
Tabela 3.3: Métricas de paisagem para o desmatamento até 2013 utilizadas no estudo.....	51
Tabela 3.4: Escala de valores de intensidade de importância	54
Tabela 4.1: Detalhamento de cada variável utilizada para calcular o índice de valor da terra nas células.	66
Tabela 4.2: Matriz de comparação pareada dos fatores relacionados com a valorização da terra.....	68
Tabela 4.3: Pesos derivados do AHP.....	69
Tabela 4.4: Diferença Interquartil das simulações dos pesos das variáveis que compõe o IVT.	75
Tabela 4.5: Modelo preliminar.	77
Tabela 4.6: Modelo final com interações das variáveis.	78
Tabela 4.7: Resultado das análises de normalidade, homocedasticidade e dependência espacial dos resíduos.	80

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos.....	4
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
2.1 Processo de ocupação e desmatamento na Amazônia.....	5
2.2 Sistemas de monitoramento do desmatamento e mapeamento de uso e cobertura da terra.....	10
2.3 Questão da Terra na Amazônia.....	14
2.4 Modelagem do desmatamento.....	18
2.4.1 Fatores relacionados com o desmatamento na Amazônia.....	21
2.5 Modelos de regressão linear.....	25
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
3.1 Área de estudo.....	28
3.2 Dados.....	35
3.3 Métodos.....	38
3.3.1 Levantamento em campo dos fatores estudados.....	39
3.3.2 Atualização e complementação dos dados de estradas e de degradação florestal.....	41
3.3.3 Construção das variáveis utilizadas.....	44
3.3.4 Desenvolvimento do Índice de Valorização da Terra (IVT).....	52
3.3.5 Construção do modelo de regressão linear.....	55
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	59
4.1 Levantamento de dados em campo.....	59
4.2 Resultado dos mapeamentos: estradas e degradação florestal.....	62
4.3 Representação do índice de valor da terra (IVT).....	66
4.4 Modelo de regressão.....	75
4.4.1 Análise do modelo para o desmatamento.....	80
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93

APÊNDICE A - ROTEIROS DE PERGUNTAS USADOS NAS ENTREVISTAS EM CAMPO.....	103
APÊNDICE B - REPRESENTAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO MODELO DE REGRESSÃO ESTATÍSTICA RESULTANTE NO ESPAÇO CELULAR.	109
ANEXO A - MÉTRICAS CALCULADAS PELO GEODMA	115

1 INTRODUÇÃO

Os impactos no ecossistema florestal da Amazônia causados pelo desmatamento afetam a biodiversidade, os regimes de chuva e hidrológicos, locais e regionais. Na escala planetária, esse fenômeno causa também um considerável impacto, representando uma importante fonte de emissão de gases de efeito estufa na atmosfera (OMETTO; AGUIAR; MARTINELLI, 2011; FEARNside, 2017a; IPCC, 2019).

Devido a crescente importância do desmatamento e de seus impactos nas diferentes escalas, para que esse fenômeno pudesse ser monitorado adequadamente, foi criado o Projeto de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES) em 1989, de responsabilidade do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/MCTI. Esse sistema considera como desmatamento toda área em que houve a remoção completa da cobertura florestal original. O PRODES conta com dados históricos e anuais de desmatamento desde 1988 e, a partir de 2004, juntamente com o DETER- Detecção de Desmatamento em Tempo quase Real, passou a integrar o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), que é uma ação contínua e integrada do governo federal, para reduzir o desmatamento e promover o desenvolvimento sustentável na Amazônia. Além de serem utilizados em Políticas de controle de desmatamento, os dados do PRODES são disponibilizados na internet, possibilitando que estudos sobre suas dinâmicas temporais e espaciais possam ser realizados (VALERIANO et al., 2012).

Os dados de desmatamento do PRODES e DETER têm evidenciado o estado do Pará como um dos que apresenta maiores taxas de desmatamento na Amazônia Legal, com 13,9 mil km², o que representou em 2018, 38,9% da área total desmatada (INPE, 2019). O município de Novo Progresso, objeto desse estudo, e que se constitui como uma nova fronteira da ocupação na Amazônia dos anos 2000, ainda em atividade, está entre os dez municípios

que mais desmataram no país e foi o 6º em 2018. Esse fato é preocupante quando se associa a informação sobre a crescente taxa de desmatamento no município, que vem aumentando desde 2010 (INPE, 2017), e que encontra-se entre os prioritários para o monitoramento e controle do desmatamento no PPCDAm (BRASIL, 2018).

Diversos fatores estão associados ao processo de desmatamento, no entanto, sabe-se que os principais deles se relacionam com o desenvolvimento de atividades econômicas, realizadas de forma não sustentáveis, em detrimento da floresta e que se expandem pelo território de forma pouco controlada. Dentre as principais atividades econômicas que se desenvolvem na Amazônia, destacam-se os sistemas agropecuários extensivos que se expandem e demandam grandes quantidades de terras, visando o aumento do lucro, com pouco investimento e baseados no acúmulo de terras. Nos últimos anos, de acordo com Costa (2016), a produção agropecuária tem aumentado na região, porém, o desmatamento diminuiu, levando a hipótese de que há, em algum grau, o desacoplamento entre o desmatamento e a produção agropecuária, que poderia ser explicado por fatores associados à demanda e especulação por terra.

Estudos sobre o desmatamento na Amazônia relacionam diferentes fatores explicativos, tais como infraestrutura, representados por meio de variáveis como proximidade às estradas, aos centros urbanos, além de fatores econômicos, populacionais e ambientais (FEARNSIDE, 1991; GEIST; LAMBIN, 2001; LAURANCE et al., 2001, 2002; LAMBIN; GEIST; LEPERS, 2003; MARGULIS, 2003; SOARES-FILHO et al., 2004; AGUIAR; CÂMARA; ESCADA, 2007; XIMENES et al., 2008; FEARNSIDE et al., 2009; OMETTO; AGUIAR; MARTINELLI, 2011; VERBURG et al., 2014). Os fatores explicativos obtidos nesses estudos, variam em função das escalas e das abordagens econômicas e estatísticas utilizadas. Trabalhos mais recentes sobre o desmatamento têm apontado para a incorporação nos modelos explicativos, de variáveis relacionadas com o mercado e a demanda por terra (COSTA, 2016; COSTA;

FERNANDES, 2016). Esses fatores são importante, porém, têm sido pouco utilizados nos estudos que avaliam os condicionantes do desmatamento (RAZERA, 2005; CARRERO; FEARNSSIDE, 2011).

A especulação por terras ocorre para atender a demanda de terra pelos atuais sistemas produtivos, em sua maioria extensivos, como os da pecuária. Nessa situação, a terra passa a ser vista como mercadoria, negociada em um mercado próprio de terra (PLATA, 2006). O mercado de terras na Amazônia, de acordo com Costa (2012), lida com três tipos de mercadorias: 'Terras com Mata', 'Terras para Pastagem' e 'Terras para Lavoura'. As Terras com Mata, representam as mercadorias iniciais utilizadas para atender à demanda pelos dois outros tipos de terra, de pecuária e agricultura. Na fase inicial da produção, as áreas (terras) de floresta são desmatadas e convertidas em mercadoria. Em seguida, é feita a mudança para 'Terras para Pastagem' ou para 'Terras para Lavoura', para o desenvolvimento da produção agropecuária.

A transformação das florestas primárias em mercadoria, pressupõe que os custos devem ser compatíveis com a rentabilidade das atividades agrícolas e da pecuária, esta última, extensiva, se desenvolvendo e em expansão sobre extensas áreas florestais. Para completar, as condições institucionais garantem o apossamento privado de terras públicas pelo mecanismo conhecido como 'grilagem', que se firmou, como um *modus operandi* nas formas de produção na Amazônia, principalmente nas regiões de fronteira agropecuária (INCRA, 1999; BENATTI; TRECCANI; FISCHER, 2013; COSTA; FERNANDES, 2016; FERNANDES; MORGAN, 2017; TORRES; DOBLAS; ALARCON, 2017).

No presente trabalho, a hipótese da relação entre demanda por terra e desmatamento é explorada, por meio de modelos de regressão estatística para a região de Novo Progresso, PA. Além de variáveis explicativas convencionalmente usadas no estudo do desmatamento, como as variáveis ambientais, socioeconômicas e de infraestrutura, incluiu-se variáveis representativas das condições legais dos imóveis rurais e um indicador de valor da terra. A demanda por terra, é compreendida nesse estudo, pela pressão

exercida pelas formas de produção local, baseada em um sistema extensivo de uso da terra, que promove o desmatamento, especulação, grilagem e o acúmulo de terras.

1.1 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo identificar fatores determinantes do desmatamento para o período de 2014 a 2017 na região de Novo Progresso, PA, incluindo variáveis explicativas que representam indiretamente a demanda, o valor das terras, e o regime fundiário, pela aplicação de modelagem linear estatística. Com os resultados dessa análise busca-se responder à seguinte pergunta: Qual é a influência da demanda por terras, representada por variáveis relacionadas com o mercado de terra, no desmatamento na região de Novo Progresso para o período de 2014 a 2017?

Para isso, derivaram-se deste objetivo principal, os objetivos específicos apresentados a seguir:

1. Avaliar os principais fatores relacionados com desmatamento, em especial os associados à demanda e ao valor da terra;
2. Desenvolver um índice para representar espacialmente a valorização da terra, baseado na literatura e em informações levantadas em campo;
3. Elaborar um modelo de regressão com fatores explicativos para o desmatamento do período de 2014 a 2017.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste Capítulo, é apresentada a fundamentação teórica organizada em tópicos, considerados relevantes para o desenvolvimento deste trabalho. Na primeira seção, para contextualizar o estudo, é apresentado um breve histórico de ocupação da Amazônia a partir da década de 70. Em seguida, são apresentados os sistemas de monitoramento do desmatamento e de uso e cobertura da terra do INPE. Esses sistemas são relevantes, pois parte dos produtos gerados por esses sistemas são utilizados neste trabalho.

Na Seção 2.3, é explorada a questão sobre a “terra” na Amazônia, cujo tema é fundamental para entender os principais processos relacionados com a demanda por terra bem como a metodologia para a geração e representação do indicador de valorização da terra obtido para a área de estudo. A Seção 2.4 apresenta os métodos desenvolvidos nesse estudo para a análise do desmatamento, que busca, por meio da modelagem evidenciar os principais fatores relacionados ao processo. Nesta seção, destaca-se também os fatores relacionados com a demanda por terra. Por fim, apresenta-se na Seção 2.5 as técnicas estatísticas utilizadas nesse trabalho para a análise do desmatamento e dos fatores relacionados, com modelo de regressão linear.

2.1 Processo de ocupação e desmatamento na Amazônia

Neste tópico, é abordado o histórico no qual está fundamentado o processo de ocupação da Amazônia. Toma-se como ponto de partida a ocupação da Amazônia a partir da década de 70.

No início da ocupação, houve grande participação do governo na oferta de incentivos para a ocupação da região. Institucionalizaram-se benefícios fiscais e incentivos à migração, a partir de programas de distribuição e desapropriação de largas faixas de terras, às margens das estradas federais. Neste período, a Amazônia era tratada como um território demograficamente “vazio” e afirmava-se que era necessário colonizá-la para dominá-la e integrá-la às outras regiões

do país, como o sul e o sudeste. No entanto, a existência de ocupações humanas como as populações indígenas e caboclas e outras populações locais eram negligenciadas (BECKER, 1990).

No momento seguinte, nas décadas de 80 e 90, com as crises do petróleo e financeira, a ocupação foi induzida não mais pelo Estado, que promoveu a colonização da região na década de 70. A fronteira de ocupação passa a avançar no território em frentes localizadas e impulsionada principalmente pelo capital privado. Os agentes econômicos são representados por madeireiros, pecuaristas e agricultores de larga escala que são responsáveis pela promoção da fronteira utilizando recursos próprios, contrapondo-se ao processo inicial, em que o avanço era promovido principalmente pelo governo federal (BECKER, 2005).

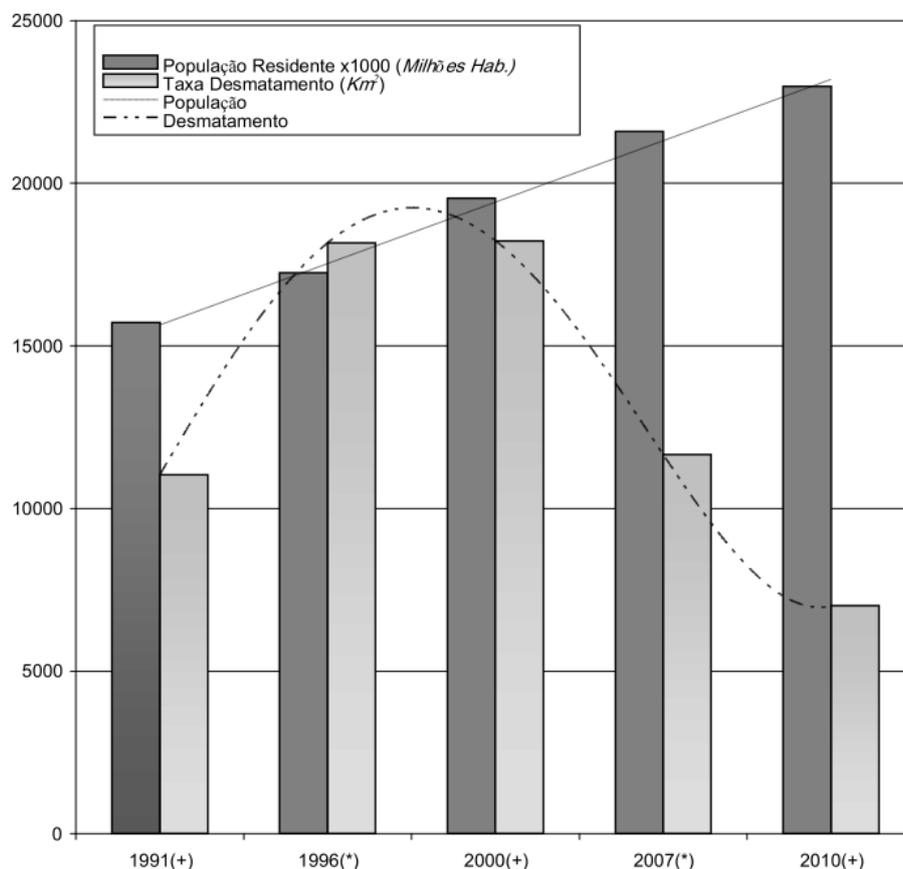
Mais recentemente, no final da década de 90 e início dos anos 2000, a fronteira de expansão torna-se mais localizada e concentrada em algumas regiões. Exemplos disso são o município de São Félix do Xingu, no sudeste do Pará, entre os rios Xingu e Irixi; a região no extremo norte do estado do Mato Grosso, às margens da rodovia Cuiabá-Santarém (BR 163); no sudoeste do Pará e; a região ao Norte de Mato Grosso em direção ao sul do Estado do Amazonas, nos municípios de Colniza e Aripuanã (BECKER, 2005). Nessa fase, a Amazônia passa a experimentar outros padrões de migração. Os deslocamentos populacionais ocorrem predominantemente de forma intra-regional, e da zona rural em direção aos centros urbanos, principalmente para as capitais dos Estados, e também para as novas frentes, como é o caso de Novo Progresso no eixo da BR-163, que conecta Cuiabá a Santarém.

O processo de ocupação é também influenciado pelo mercado de terras, que é motivado, na sua maior parte, pela pecuária extensiva, em geral no início da ocupação em que há poucos investimentos na infraestrutura, que demanda grandes porções de terra e, em seguida, pelo agronegócio baseado principalmente nas culturas de soja, milho e algodão. No final da década de 90 e nos anos 2000, os agentes privados passam a ser os principais atores na

dinâmica das regiões de fronteira, empregando recursos próprios na frente de ocupação. Em algumas regiões a dinâmica de ocupação e os padrões de desmatamento ainda aparecem concentrados nas rodovias, como foi o caso da BR-163, na porção sudoeste do Pará. Nessa região as taxas de desmatamento têm sido maiores do que nas áreas que foram ocupadas na década de 70. Nos estados do Mato Grosso e do Pará, nesse período, a agricultura tecnicizada voltada para a produção em larga escala de grãos intensifica o uso das áreas já abertas e provoca o aumento da abertura de novas áreas de floresta para a expansão da pecuária (BECKER, 2005).

Os padrões de migração desde os anos 2000 passaram a ser predominantemente intraregionais e/ou da área rural para as cidades ocorrendo, conseqüentemente, um intenso crescimento urbano nas cidades da Amazônia, enquanto a população rural diminuiu em decorrência desse fluxo migratório urbanos (BECKER, 2005). Embora a população cresceu nas últimas décadas na região amazônica, o desmatamento não acompanha esta tendência. Conforme demonstrado por Valeriano e colaboradores (2012), enquanto as taxas de desmatamento diminuem, o crescimento populacional se mantém, denotando um desacoplamento entre o comportamento destes dois fenômenos (Figura 2.1). Esta constatação, indica que, diferente do que se acreditava, não é somente o crescimento da população que pode explicar a complexidade das causas do desmatamento na Amazônia.

Figura 2.1: Evolução histórica do desmatamento (km²) e da População Residente (milhões de habitantes) na Amazônia Legal.



(+) Censo Demográfico (*) Contagem Populacional.
 Dados de desmatamento PRODES (INPE, 2019) e de população dos Censos Demográficos e Contagens Populacionais (IBGE, 2016).
 Fonte: Valeriano et al. (2012).

Diferentemente do passado, a região passa a apresentar maior conectividade e acessibilidade com a construção e desenvolvimento da infraestrutura de rodovias e sua pavimentação. A rede viária se expande por estradas vicinais e privadas que passam a facilitar o desmatamento, grilagem e conflitos por terra em áreas cada vez mais distantes das rodovias federais (BECKER, 2005). A dinâmica territorial se apresenta heterogênea, apresentando diferentes velocidades e estágios de ocupação, imprimindo diferentes configurações espaciais da cobertura da terra no território. Também influenciam esses

padrões os agentes locais que podem ser agrupados em diferentes categorias (pequenos, médios e grandes produtores), exercendo diferentes atividades econômicas, tais como a agropecuária, a mineração e a extração de madeira (CASTRO, 2005; ESCADA et al., 2009).

Depois atingir a segunda maior taxa de desmatamento em 2004, desde que o PRODES entrou em operação, a taxa passa a decrescer para valores cada vez menores até 2012. Grande parte desse efeito se deve às ações de comando e controle desenvolvidas por meio de políticas públicas. Grande parte do desmatamento evitado nesse período tem sido atribuído as estratégias desenvolvidas pela articulação de instituições do país em controlar o desmatamento por meio do Plano de Ação para a prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) criado em 2004 (VALERIANO et al., 2012).

Por fim, o histórico apresentado evidencia que o desmatamento tem sido uma consequência do processo histórico de ocupação da Amazônia. Nas áreas de fronteira, historicamente, nos primeiros anos de ocupação, há um rápido crescimento populacional, grande disponibilidade de terras, e a prática de diversas atividades ilegais, em conjunto com a falta de controle dos órgãos fiscalizadores no combate ao desmatamento, sendo em geral, o período em que essas áreas apresentam maiores taxas de desmatamento. O desenvolvimento de determinadas atividades econômicas ocasionou a expansão da agropecuária, sendo a pecuária geralmente apontada na literatura como a principal atividade responsável por pressionar a floresta (MARGULIS, 2003; FEARNSIDE, 2005). Aliado a isso, é frequente a abertura de novas áreas em regiões mais remotas por pequenos produtores que posteriormente têm suas terras incorporadas por grandes fazendeiros, que acumulam terras para a produção agropecuária (MARGULIS, 2003; D'ANTONA et al., 2011).

2.2 Sistemas de monitoramento do desmatamento e mapeamento de uso e cobertura da terra.

Este tópico destina-se a apresentar o Projeto de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES) e o Projeto de Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra na Amazônia Legal Brasileira (TerraClass). Estes programas têm importância fundamental para a compreensão do processo de desmatamento e dos padrões espaço-temporais de uso e cobertura da terra na Amazônia (VALERIANO et al., 2012). Além disso, esses dados foram amplamente utilizados nesse trabalho.

O PRODES é desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e desde 1988 divulga a taxa de desmatamento anual na Amazônia. Desde então tem utilizado como base de dados imagens orbitais provenientes do programa americano Landsat, do programa sino-brasileiro CBERS-2 e CBERS-2b e de outros sensores com características semelhantes, para mapear anualmente o desmatamento. No início, o mapeamento era realizado de forma analógica com interpretação visual de imagem, mas a partir de 1997 passou a ser digital, sempre mantendo a área mínima mapeada em 6,25 hectares. O método utilizado foi aprimorado empregando processamento digital de imagem com Modelos Linear de Mistura Espectral (MLME) e interpretação visual de imagens. A partir de 2003 o INPE passa a publicar na internet os dados de taxas de desmatamento e os mapas produzidos pelo programa (DUARTE et al., 1999; AGUIAR; CÂMARA; ESCADA, 2007; INPE, 2008; VALERIANO et al., 2012).

No PRODES, as taxas são calculadas baseando-se somente nas áreas onde ocorreu desmatamento por corte raso, ou seja, áreas em que ocorreu a remoção completa da floresta em um curto intervalo de tempo. Áreas de degradação e regeneração florestal não são mapeadas por esse sistema, pois, no início do programa, esses processos apareciam em pequenas dimensões,

sendo inviável a detecção com os instrumentos e técnicas utilizados naquele período¹ (VALERIANO et al., 2012).

O PRODES foi criado a partir de uma demanda do governo federal preocupado com a intensidade do processo de desmatamento na Amazônia. O governo brasileiro precisava se preparar para Conferência Eco-92 e respondia a pressão internacional que tinha interesse em estudar o processo de desmatamento no ciclo do carbono global. Atualmente, o programa integra o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), que é uma ação contínua do governo federal para reduzir o desmatamento e promover o desenvolvimento sustentável na Amazônia. Este é um dado oficial que tem sido utilizado nas mesas de negociação internacionais nas convenções do clima (DUARTE et al., 1999; INPE, 2008; VALERIANO et al., 2012; BRASIL, 2018). Além disso, os dados do PRODES são utilizados como máscara temporal nos outros sistemas de monitoramento do INPE, como o DETER (Sistema de Alertas de Desmatamento em Tempo Quase Real), que mapeia desmatamentos novos e degradação florestal, emitindo alertas para a fiscalização, e o TerraClass, que mapeia o uso da terra bianualmente, em áreas desmatadas e identificadas pelo PRODES.

O TerraClass utiliza as mesmas imagens do PRODES além de imagens MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*) para mapear a agricultura anual de larga escala. O método de mapeamento é realizado por etapas e cada classe é mapeada com diferentes técnicas. São utilizadas imagens fração a partir da aplicação de um modelo linear de mistura espectral de imagens Landsat, sobre as quais é realizada interpretação visual, fatiamento e classificação automática. Para o mapeamento das áreas de agricultura anual, são utilizadas técnicas de análise de séries temporais de índice de vegetação

¹Outros sistemas foram criados a partir de 2007 para o mapeamento da Degradação florestal, (DEGRAD) e para extração seletiva de madeira (DETEX). Esses sistemas foram criados para atender uma solicitação do Serviço Florestal Brasileiro (SBF) e utilizam os dados do PRODES para gerar uma máscara da área desmatada e mapear alterações na cobertura florestal.

normalizado (NDVI) provenientes de dados MODIS. O levantamento é executado pela parceria entre o INPE e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) que auxilia principalmente no mapeamento de classes de uso agropecuários. O TerraClass conta com edições para o ano de 1991, 2000, 2004, 2008, 2010, 2012 e 2014 (EMBRAPA; INPE, 2019). O mapeamento temático é realizado utilizando as classes apresentadas na

Tabela 2.1 (INPE; EMBRAPA, 2011; ALMEIDA et al., 2016).

Tabela 2.1: Classes de mapeamento de uso e cobertura da terra utilizado pelo TerraClass.

Classes	Descrição
Desflorestamento no ano	Área desmatada com corte raso do ano corrente sem uso, identificada pelo PRODES no ano do mapeamento.
Área urbanizada	Áreas habitadas, cidades, vilas, que contam com infraestrutura de ruas, prédios e casas.
Mineração	Áreas de extração mineral, geralmente próximas a rios, apresentando solos exposto e desmatamento.
Cultura agrícola temporária	Áreas extensas de agricultura tecnificada com culturas anuais, principalmente grãos.
Cultura agrícola semiperene	Culturas agrícolas que apresentam ciclo de produção superior ao do ano-safra de referência do mapeamento, representadas, principalmente, pela cana-de-açúcar.
Cultura agrícola perene	Culturas agrícolas permanentes, apresentando diferentes estádios de maturidade e cobertura vegetal, como plantações de café, citro, seringueira, entre outras.

(Continua)

Tabela 2.1: Conclusão.

Classes	Descrição
Pastagem cultivada herbácea	Área para produção pecuária coberta por forrageiras e gramíneas
Pastagem cultivada arbustiva	Área para produção pecuária com predominância de forrageiras e gramíneas combinadas com vegetação arbustiva.
Silvicultura	Cultura de espécies florestais de interesse comercial, representadas por formações arbóreas monoespecíficas, como eucalipto e pinus.
Vegetação natural florestal secundária	Áreas que sofreram corte raso e apresentam a regeneração natural em estágio sucessional avançado com espécies arbóreas e arbustivas.
Vegetação natural florestal primária	Formação vegetal natural caracterizada pelo adensamento de espécies arbóreas que não tenham sofrido supressão total da vegetação original, desde o início do monitoramento do desflorestamento da Amazônia.
Não Floresta	Áreas contidas nos limites da Amazônia Legal Brasileira, cuja cobertura vegetal não é florestal.
Outros	Áreas com cobertura que não se enquadram nas outras classes como afloramento rochoso, rios, bancos de areia etc.
Corpos d'água	Corpos d'água naturais ou artificiais, como rios, lagos, açudes e represas.
Área não observada	Usos e coberturas que não foram possíveis de serem interpretados devido a presença de nuvens ou sombra de nuvem no dado orbital ou áreas recentemente queimadas.

Fonte: Adaptado de Almeida et al. (2016) e EMBRAPA, INPE (2019).

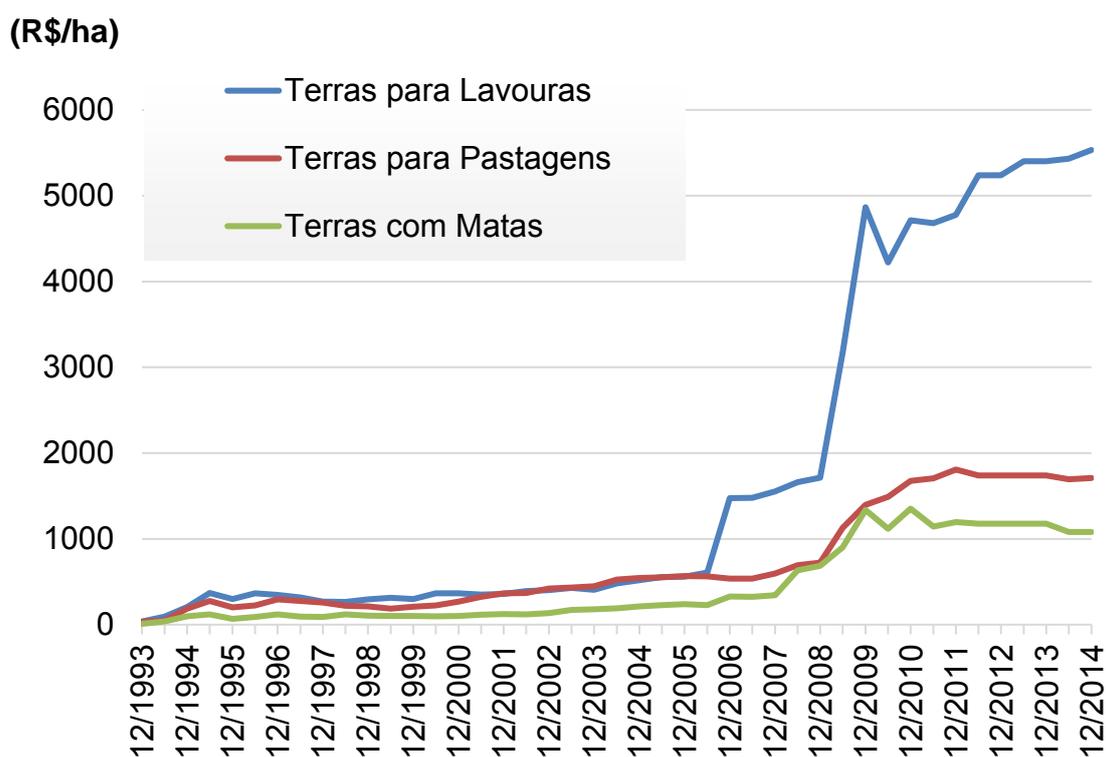
2.3 Questão da Terra na Amazônia

Nesta seção, são apresentadas algumas definições de mercado de terra, demanda por terra e produção de terra utilizadas neste trabalho. Além disso, são apresentadas características referentes ao mercado de terra, fatores importantes na valorização da terra e a questão da terra na região amazônica.

O mercado de terra é definido como a negociação pela mercadoria terra representada por uma área no espaço. A terra é um ativo com as seguintes características: é um bem escasso, é imóvel e é durável. Ela pode ser considerada simultaneamente como um ativo de capital e líquido, pois seu preço é influenciado pela dinâmica da oferta e procura, porém, em situações em que a oferta é fixa, ou seja, em que não há como adquirir “novas terras” para o mercado, o preço varia somente conforme a demanda. O preço da terra é influenciado não somente por fatores macros, mas também por condições locais. Portanto, conhecer o mercado de terra implica em considerar os fatores locais que o influenciam (REYDON; PLATA, 2006).

O produto terra na Amazônia, neste trabalho, é definido de acordo com Costa (2012) e é agrupado em três tipos de mercadorias: “Terra com Mata”, “Terra para Pastagem” e “Terra para Lavoura”. O primeiro tipo de mercadoria é produzido a partir das “Florestas Originárias” que originalmente não se constituía em mercadoria. O preço da “terra com mata” é dado geralmente a partir do preço das outras mercadorias citadas e na região amazônica vale em média 43% das “terras para pastagem” e 23% das “terras para lavouras” (COSTA, 2012). Em levantamento realizado pelo Instituto Brasileiro de Economia (IBRE) da Fundação Getúlio Vargas (FGV) para os preços da venda de terra no estado do Pará é possível perceber essas diferenças nos preços dos produtos de acordo com os tipos de terra, conforme mostra a **Figura 2.2**.

Figura 2.2: Evolução do preço de terras no estado do Pará.



Dados de preço de terras FGV/IBRE (2014).
 Fonte: Produção do Autor.

A demanda por terra é determinada pela expectativa de ganhos com a produção na terra, levando-se em conta o preço do bem produzido e as condições para produção, como tecnologia, custo de insumos, maquinário etc. Desta forma, a demanda aumenta localmente quando há perspectiva de ganhos com a aquisição das terras por parte de comprador. Outro fator importante para a demanda é quando a terra representa um ativo líquido e há expectativa da sua valorização, mesmo em momentos de crise (REYDON; PLATA, 2006). Na Amazônia, o sistema agropecuário que mais demanda terra é a pecuária extensiva que possui acesso ao capital e apresenta baixa produtividade líquida e depende do mercado de terra (COSTA, 2012). Este sistema é definido por Costa (2009) como *trajetória tecnológica pecuária patronal*.

Segundo Plata (2006) alguns fatores influenciam no preço da terra, como os listados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Fatores que influenciam no preço da terra (Plata, 2006).

Fator	Descrição	Relação com o preço da terra
Renda oriunda da produção	A expectativa da renda aumenta a demanda pela terra	Positiva
Infraestrutura de produção e comercialização	A disponibilidade de água, estradas de acesso, transporte, proximidade ao centro de consumo e informações aumentam as rendas produtivas.	Positiva
Leis de preservação florestal e mediadas de governança da terra.	Mecanismos de governança da terra e proteção ao meio ambiente que limitam o uso da terra.	Negativa
Grau de fragmentação	Quanto menor a propriedade, maior será o preço	Negativa
Crescimento da população	Aumento da demanda por alimentação e espaço para urbanização e lazer	Positiva
Inflação	Aumenta a demanda e a especulação da terra	Positiva
Imposto	Aumente o custo de manutenção	Positiva
Desenvolvimento do sistema financeiro	Restrição da liquidez e acesso a instrumentos financeiros.	Negativa
Ambiente socioeconômico e político das transações por terra	Quanto mais atraente e seguro for o investimento, melhor.	Positiva

Fonte: Produção do Autor.

No mercado de terra, assume-se que a terra tem um proprietário. Na Amazônia, parte da terra é dividida em glebas e se tornaram propriedade do estado brasileiro, principalmente às margens das rodovias federais num raio de 100 km, num processo conhecido por federalização da terra (FAO/SEAD, 2017). No Pará, há a apropriação da terra pública por meio da “grilagem” que consiste na falsificação de documentos para caracterização de posse. Com isso, a terra é comercializada por meio de contratos de compra e venda registrado somente em cartórios. Dificilmente se obtém os títulos (INCRA, 1999).

O processo da grilagem é concluído quando se obtém o título que garante a propriedade da terra. Muitas iniciativas tem sido utilizadas para regularizar a situação fundiária na Amazônia, entre elas a iniciativa TerraLegal. Este programa estabelece uma série de requisitos para dar e manter o título das terras (CUNHA, 2009). Diversos mecanismos são utilizados para obter os títulos ou caracterizar a posse de uma terra. Uma forma tem sido adaptar a propriedade aos parâmetros legais, diminuindo a área ao que a lei prevê passível de titulação. A Lei tem sido flexibilizada, aumentando a área mínima para titulação. Outra forma é utilizar o Cadastro Ambiental Rural (CAR) em que se declara os limites da propriedade para delimitar a área de interesse (TORRES; DOBLAS; ALARCON, 2017; BRITO et al., 2019).

O CAR é um mecanismo de regularização ambiental criado pela lei nº 12.651 de 2012 que prevê a autodeclaração obrigatória de todos os imóveis rurais com informações georreferenciadas da propriedade (BRASIL, 2012). Nesta declaração devem conter a delimitação de Áreas de Proteção Permanente (APP), Reserva Legal (RL), remanescentes de vegetação nativa, área rural consolidada, áreas de interesse social e de utilidade pública, definidas na instrução normativa nº 2/MMA, de 06 de maio de 2014 (MMA, 2014). Todo o cadastramento é realizado no Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) e fica disponível para acesso público. Associado a cada cadastro, deve-se conter dados do proprietário, possuidor rural ou responsável direto pelo imóvel rural;

dados sobre os documentos de comprovação de propriedade e ou posse. Após o cadastramento, a avaliação para ratificação do cadastro é feita pelas secretarias estaduais de meio ambiente. Com o cadastro avaliado e validado, o proprietário então, pode dar início a regularização ambiental por meio de mecanismos de fomento como o Programa de Regularização Ambiental (PRA) também previsto na lei nº 12.651 de 2012. A transparência atrelada ao mecanismo instituído pelo CAR e seu caráter inovador tem tornado o cadastro uma importante ferramenta não somente para gestão ambiental, mas também fundiária com a delimitação das propriedades. Entretanto essa ferramenta tem sido constrangida pela lentidão da aplicação da lei de 2012 e os constantes adiamentos do limite para o cadastro (ROITMAN et al., 2018).

2.4 Modelagem do desmatamento

Este tópico baseia-se na revisão de literatura sobre uso de modelos para análise, projeção e simulação de cenários de desmatamento na Amazônia. Apresenta-se uma visão geral dos métodos mais utilizados e a revisão de alguns artigos que utilizam a modelagem em diferentes escalas e contextos.

Lambin (1994) desenvolveu uma base conceitual de modelos de desmatamento em que identifica três categorias diferentes de modelos: modelos empíricos, modelos mecânicos e modelos sistêmicos. Na primeira categoria, os modelos são construídos sob suposições já observadas entre as variáveis, em processos estacionários. Os modelos mecânicos são destinados para casos em que já se conhecem os processos em que o sistema é operado, tais como regras ou leis descritas por simples equações. Por fim, os modelos sistêmicos são formados por diversos componentes complexos interagindo, descritos matematicamente.

Uma síntese, com os exemplos de modelos, é apresentada na Tabela 2.3 para orientar sobre o modelo a ser utilizado em cada estudo, de acordo com as perguntas que se deseja responder. Ao observar esta tabela, pode-se notar que são diversos os tipos de modelos listados em cada categoria. Porém, este trabalho vai se limitar aos modelos empíricos de regressão, apresentado mais

detalhadamente no tópico subsequente, que serão utilizados na metodologia. Tal modelo é utilizado para tentar entender os fatores explicativos relativos ao processo de desmatamento, definindo-se como variável dependente o desmatamento. Os modelos espaciais são consequência da combinação do uso de técnicas de análises estatísticas multivariadas e de geoprocessamento, possibilitando analisar o processo em questão, no espaço, buscando-se os fatores explicativos (LAMBIN, 1994).

Tabela 2.3: Principais contribuições das diferentes categorias de modelos de desmatamento.

Tipos de Modelos	Modelos empíricos	Modelos Mecânicos	Modelos Sistêmicos
Questões a serem abordadas			
Por que?	Modelos de Regressão	Pressão populacional e modelos econômicos	Modelos Ecológicos e Modelos de simulação de dinâmica espacial
Quando?	Cadeia de Markov e Modelos Logísticos	-	
Onde?	Modelos espaciais estatísticos	Modelos peri-urbanos e mudança do uso do solo	Modelos de simulação de dinâmica espacial

fonte: Adaptado de Lambin (1994).

Como já observado no processo de ocupação e desmatamento da Amazônia, os determinantes são múltiplos (GEIST; LAMBIN, 2001). Laurance e colaboradores (2001) ganharam repercussão no meio científico com os resultados do trabalho de modelagem do desmatamento na Amazônia oriundos

uma visão catastrófica, a partir de um modelo simplista, para o futuro da floresta. Esse estudo leva em conta principalmente a distância das estradas e rodovias federais e um processo de ocupação acelerado e intenso no entorno delas. O trabalho foi alvo de crítica de outros pesquisadores como foi o caso da análise elaborada por Camara et al (2005) que indica que as causas do desmatamento são múltiplas não se podendo atribuir o desmatamento apenas às estradas, embora muitas vezes elas tenham uma influência grande.

No estudo do desmatamento na Amazônia é importante destacar alguns modelos que têm sido empregados. A plataforma de modelagem “DINAMICA” que aparece em alguns trabalhos (SOARES-FILHO et al., 2004; XIMENES et al., 2008; FEARNSSIDE et al., 2009; RORIZ; YANAI; FEARNSSIDE, 2017) é um modelo estocástico de autômatos celulares baseado em vizinhança e tem sido utilizada para diversos fins, como a modelagem de processos de mudanças de uso e cobertura da terra e crescimento urbano (SOARES-FILHO et al., 2002). Posteriormente a plataforma foi atualizada para o “DINAMICA-EGO”, essa nova plataforma confere maior flexibilidade e rapidez de processamento (RODRIGUES et al., 2007). Verburg e colaboradores (2014) estruturam outro modelo baseado na simulação dinâmica de usos do solo e o denominam como LUSMAPA (*Land Use Simulator Mato Grosso - Pará*).

Mais recentemente, na tentativa de prever onde o desmatamento pode ocorrer, Silva e colaboradores (2017) se dedicaram a desenvolver o modelo SDBN (*Spatial Dynamic Bayesian Network*). A rede Bayesiana conecta as diferentes variáveis de forma estatística por meio de uma função de probabilidade. No caso da SDBN, as redes bayesianas para cada instante do tempo são encadeadas em sequência, replicando as diferentes variáveis e suas respectivas relações de dependência. Dessa forma, o desmatamento é modelado para cada instante do tempo e o resultado é a espacialização das áreas mais susceptíveis ao desmatamento.

Com intuito de compreender os fatores relacionados com o desmatamento na Amazônia, outros trabalhos têm lançado mão do uso de modelos empíricos de

regressão estatística ou logística e regressão espacial. Modelos logísticos são explorados por Mertens et al. (2002), Soares-Filho et al. (2006) e Soler et al. (2009). A regressão espacial geralmente é empregada para evitar a autocorrelação espacial na análise (PERZ; SKOLE, 2003; SIMMONS, 2004; AGUIAR; CÂMARA; ESCADA, 2007). No entanto, abordagens utilizando a regressão estatística são viáveis quando se evita o problema da autocorreção espacial por meio de estratégias de amostragem (LAURANCE et al., 2002; ESPINDOLA; PEBESMA; CÂMARA, 2008; ESPINDOLA et al., 2012).

2.4.1 Fatores relacionados com o desmatamento na Amazônia.

O desmatamento é um processo complexo e não é consequência de apenas um ou poucos fatores. A modelagem deve considerar fatores que têm relação direta ou subjacente a este processo. Esses fatores podem ser econômicos, políticos, institucionais, ambientais ou mesmo sociais e culturais. Os fatores mais diretos, como a expansão da agricultura e da pecuária, e o aumento da infraestrutura estão associados ao desmatamento, bem como os fatores ambientais, como topografia, hidrografia e o relevo, que oferecem condições diferenciadas para a ocupação e desmatamento de uma determinada região (GEIST; LAMBIN, 2001; OMETTO; AGUIAR; MARTINELLI, 2011; FEARNSSIDE, 2017a). A Tabela 2.4 relaciona trabalhos que buscaram estudar a mudança do uso e cobertura e o desmatamento e quais fatores determinantes foram utilizados para este fim.

Tabela 2.4: Fatores utilizados para estudar o desmatamento na Amazônia.

Categoria	Descrição	Referência
Infraestrutura	Fatores relacionadas principalmente com estradas, mas em alguns casos consideram infraestrutura energética, proximidade a centros urbanos e acesso a mercados. A rede hidrográfica por vezes é considerada como acessibilidade, dependendo da região.	Mertens et al. (2002), Soares-Filho et al. (2004), Aguiar, Câmara, Escada (2007), Ximenes et al. (2008), Fearnside et al. (2009), Soler et al. (2009), Espindola et al. (2012), Verbug et al. (2014), Roriz et al. (2017)
Demografia	Fatores acerca da população, principalmente relacionados com o volume, densidade, há casos em que a renda per capita é incluída	Soares-Filho et al. (2004), Aguiar, Câmara, Escada (2007), Soler et al. (2009)
Uso e cobertura do solo	Fatores relacionados ao uso e cobertura da terra da área estudada. Além de mapa de uso e cobertura, também são considerados em muitos casos a área desmatada, vegetação secundária e o tipo de vegetação	Soares-Filho et al. (2004), Ximenes et al. (2008), Fearnside et al. (2009), Espindola et al. (2012), Verbug et al. (2014), Roriz et al. (2017)
Ambiental	Refere-se às condições naturais da área como a topografia, tipo e características do solo, rede de drenagem (rios), declividade e altitude.	Mertens et al. (2002), Soares-Filho et al. (2004), Aguiar, Câmara, Escada (2007), Ximenes et al. (2008), Fearnside et al. (2009), Soler et al. (2009), Espindola et al. (2012), Roriz et al. (2017)
Políticas públicas e Governança	Esta categoria está principalmente atrelada a governança da terra pela instituição de áreas protegidas, como Unidade de Conservação (UC) e Terras Indígenas, incluindo também assentamentos rurais e aplicação da lei, como embargos.	Mertens et al. (2002), Soares-Filho et al. (2004), Aguiar, Câmara, Escada (2007), Soler et al. (2009), Espindola et al. (2012), Verbug et al. (2014), Roriz et al. (2017)

(Continua)

Tabela 2.4: Conclusão.

Categoria	Descrição	Referência
Estrutura fundiária	A estrutura fundiária é inserida nos estudos pelo tamanho das propriedades, concentração fundiária e posse da terra.	Mertens et al. (2002), Soares-Filho et al. (2004), Aguiar, Câmara, Escada (2007), Soler et al. (2009), Espindola et al. (2012)
Econômicos	Os fatores econômicos referem-se principalmente a créditos rurais, produção agropecuária, atividade econômica, tecnologia associada a produção e valor de mercado de commodities.	Mertens et al. (2002), Soares-Filho et al. (2004), Aguiar, Câmara, Escada (2007), Verbug et al. (2014)

Fonte: Produção do Autor.

Em geral, o desmatamento aparece associado fortemente à expansão da infraestrutura, como a criação de estradas e crescimento dos centros urbanos (SOARES-FILHO et al., 2004; SOLER; ESCADA; VERBURG, 2009; ESPINDOLA et al., 2012). Concomitante a esse processo, o aumento das áreas de pastagens e a produção pecuária e agrícola de larga escala, principalmente a soja, influenciam a supressão da floresta nativa (SOARES-FILHO et al., 2004; LUDEWIGS et al., 2009). Nas regiões em que a ocupação é mais consolidada, o desmatamento se expande a partir das áreas já abertas, o que torna a proximidade de áreas previamente desmatadas, um fator relevante (XIMENES et al., 2008).

Por outro lado, as medidas de governança de terra por meio da criação de áreas protegidas, como unidades de conservação e demarcação de terras indígenas, têm se demonstrado importante para conter o avanço do desmatamento (XIMENES et al., 2008; FEARNSSIDE et al., 2009). A criação de áreas que apresentam restrição de uso, bem como a fiscalização efetiva dessas áreas, pode reduzir a supressão da vegetação nativa ou limitar as formas de uso, surtindo muitas vezes em um efeito negativo com relação ao desmatamento na Amazônia. Em áreas com pouca fiscalização e com frequentes mudanças nos limites, como no caso da desafetação de Unidades

de Conservação, o desmatamento pode voltar a crescer Roriz et al. (2017). Os assentamentos, por sua vez, podem inibir o uso indevido da terra impondo restrições, mas a relação do desmatamento com essas formas de ocupação irá depender do contexto em que a área foi criada e dos arranjos institucionais presentes.

Ludewigs et al. (2009) estudou os assentamentos, a estrutura agrária e mudanças de uso e cobertura da terra na área de influência da Transamazônica. Apesar de considerar questões relacionadas à terra, este é um estudo em uma escala local, com uma abordagem qualitativa que utiliza métodos estatísticos e análise espacial simples para estudar as desigualdades fundiárias. Os autores constatam que o desmatamento estava positivamente relacionado com o tamanho da propriedade e do rebanho, mas não relacionado com o título de terras. No entanto, os resultados indicam a necessidade de se encontrar modelos melhores para aprofundar o estudo.

Outros estudos também levaram em consideração fatores econômicos, como é o caso de Mertens et al. (2002). O autor utiliza um modelo empírico logístico combinando dados econômicos da produção agropecuária na região de São Félix do Xingu para entender o desmatamento. Os autores demonstram com os resultados obtidos com o modelo, que a cadeia produtiva da pecuária estava relacionada com a especulação por terra. A presença, desse fator no modelo condiz com o fato de que a terra é considerada um investimento seguro na região e, resultando na influência desse fator na configuração do uso e cobertura do solo na região. Fatores relacionados à terra também são evidenciados por Costa e Fernandes (2016) que associam os sistemas agropecuários voltados para a produção de carne bovina ao desmatamento devido à pressão por terra.

A especulação da terra tem se demonstrado um fator importante para entender o desmatamento (FEARNSIDE, 2017b). Como apontado anteriormente no capítulo 1, estudos têm apontado que a expansão de pastagem não tem acompanhado o crescimento do rebanho bovino. Portanto, isso pode indicar

que há a possibilidade de que grande parte das áreas desmatadas sejam utilizadas como reserva de terra para a especulação fundiária (RAZERA, 2005; CARRERO; FEARNSSIDE, 2011; COSTA; FERNANDES, 2016). Somado a isso, Fernandes e Morgan (2017) demonstram que no Pará a pecuária utiliza da debilidade da governança de terras na região, pois a sua rentabilidade aumenta com a expansão da área destinada a esta atividade. Esta prática tem sido comum nas regiões de fronteira agrícola que abre o acesso a novas terras e impulsiona a especulação imobiliária.

As consequências da fragilidade da governança de terras são ambientais, como o desmatamento e o aumento nas emissões de gases de efeito estufa, e sociais, conflitos por terra e trabalho análogos a escravidão. Apesar dos avanços na diminuição do desmatamento na Amazônia, os esforços das políticas públicas não foram suficientes para resolver este problema. A governança de terras deficiente e a falta de alinhamentos com incentivos econômicos são entraves para diminuir o incremento anual do desmatamento e neutralizar os conflitos por terra (FAO/SEAD, 2017).

A centralidade da governança de terras está no registro e cadastro dos imóveis rurais. A situação do estado do Pará é bastante frágil. Em levantamentos grosseiros, já foi identificado o registro em cartórios de cerca de 4 vezes a superfície territorial do estado (BENATTI; TRECCANI; FISCHER, 2013). Neste cenário, a pecuária apresenta-se como uma forma de dar aparência de domínio sobre o território e valorizar a propriedade, como consequência, persiste e/ou aumenta o desmatamento da floresta amazônica (REYDON, 2011).

2.5 Modelos de regressão linear

Neter et al (1996) estabelece algumas etapas para a construção do modelo de regressão.

1. Coleta e preparo dos dados
2. Redução da dimensão das variáveis explicativas

3. Refinamento do modelo e seleção

4. Validação do modelo

De acordo com os autores, A primeira etapa consiste na coleta, checagem da qualidade dos dados e realização de alguns diagnósticos que indicam interações. A segunda etapa prevê identificar variáveis explicativas potenciais o que inclui conhecer variáveis essenciais para o problema em análise. A terceira etapa consiste em ir mais afundo nas análises do tipo de relação entre as variáveis e a variável dependente e realizar diagnósticos por meio dos resíduos do modelo. Com o modelo concluído, a última etapa é usada para validar o resultado para testar sua consistência em diferentes circunstâncias, trocando as amostras. Em todas as etapas mediadas de remediação dos dados e variáveis devem ser tomadas em caso de necessidade.

Os modelos de regressão linear ordinária, consagrados na literatura (NETER et al., 1996), têm como intuito encontrar a relação linear entre as variáveis independentes (ou preditoras) e a variável dependente (ou resposta) alvo do estudo. O modelo vai evidenciar o quanto as variáveis explicativas influenciam significativamente na variação da variável dependente. Sendo assim, pode-se denotar genericamente a partir da seguinte equação (2.1):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i \quad (2.1)$$

Onde Y_i é a Variável Dependente na sua i -ésima observação; β_0 é o intercepto; β_j ($j = 1, \dots, k$) é o coeficiente de inclinação do modelo linear referente a variável X_j e representa o quanto a variação da variável independente X_j influencia na variação da variável resposta Y ; X_{ji} é a variável independente j na sua i -ésima observação e ε_i é o erro aleatório, cuja distribuição é normal com média zero e variância constante.

Estudos apontam para o problema de autocorrelação espacial no modelo linear entre as variáveis quando se trata de dados espaciais (LEGENDRE, 1993). Neste caso, os problemas associados aos dados espaciais podem aparecer

nos resíduos associados à regressão que evidenciam a autocorrelação espacial apresentando heterocedasticidade, diferenças regionais sistemáticas e tendência espacial contínua.

Portanto, a investigação acerca dos resíduos é imprescindível para identificar a autocorrelação espacial. Analisar o mapa de resíduo é uma forma de encontrar indícios da dependência espacial do fenômeno estudado. O mapa de resíduos pode ser analisado por meio do indicador de associação espacial local (*Local Indicator of Spatial Association - LISA*) que evidencia a significância e a intensidade da associação espacial dos dados. Outra forma é utilizar testes de autocorrelação espacial nos resíduos, tal como o teste de Moran, para acusar a presença da dependência (ANSELIN, 1995).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este Capítulo está dividido em três partes. Na Seção 3.1, é apresentada a área de estudo e suas características, cujo contexto de fronteira agropecuária na Amazônia foi fundamental para este estudo. Na Seção **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, os dados utilizados são apresentados e descritos, salientando alguns tratamentos necessários para sua utilização adequada. Na Seção 3.3, os métodos utilizados para atender aos objetivos deste trabalho são colocados de forma a informar o leitor de como foi realizado o processo de criação das variáveis, a elaboração do modelo, e o levantamento de campo.

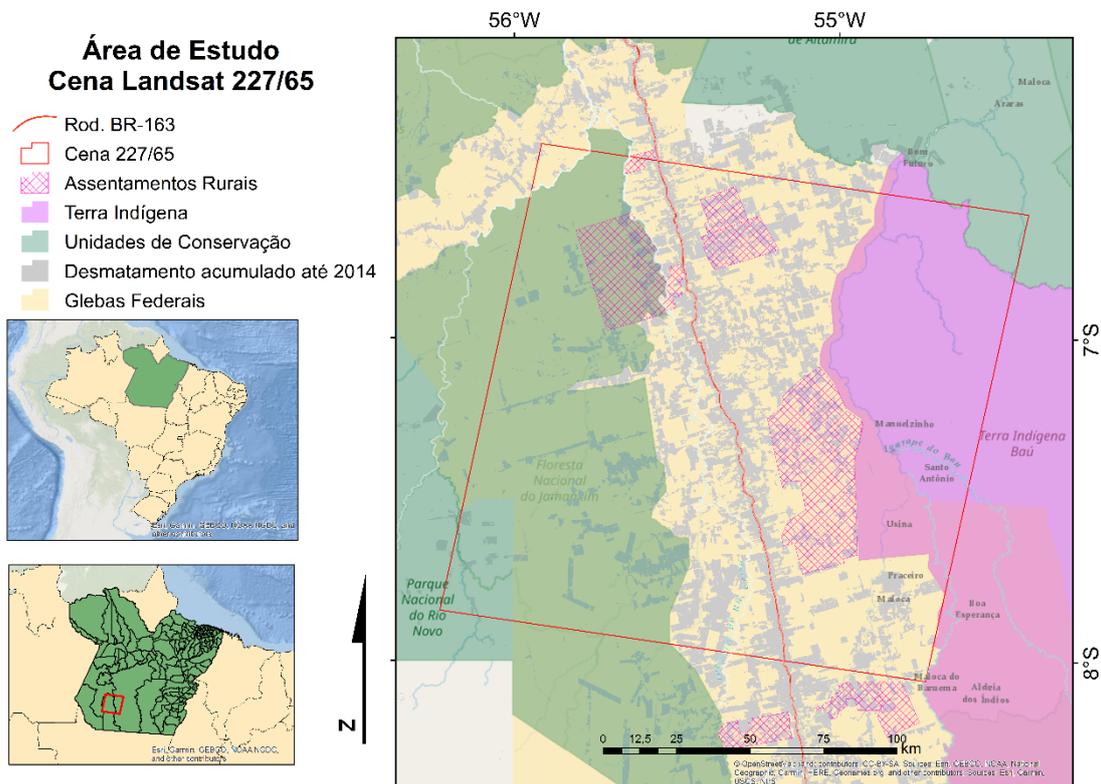
3.1 Área de estudo

A área de estudo abrange parte do município de Novo Progresso, no sudoeste do Estado do Pará, em que foi utilizada como delimitação, a área da cena Landsat de órbita 227 e ponto 65. Desde então a ocupação na região ocorreu tendo como eixo principal a rodovia BR-163 e se caracterizou pela presença de uma população predominantemente rural, cuja densidade variou de acordo com as perspectivas e ciclos econômicos associados à extração de madeira, mineração, pecuária e instalação de infraestrutura. As grandes dinâmicas populacionais e de uso e cobertura da terra identificam a região como uma área de fronteira de ocupação agropecuária que se intensificou a partir do final da década de 90 (BECKER, 2005; ESCADA et al., 2009; AMARAL et al., 2012; DAL'ASTA et al., 2017).

Figura 3.1A região está sob influência da BR-163 (Santarém-Cuiabá) que liga o estado do Pará ao estado do Mato Grosso, por onde é realizado o escoamento de grande parte da produção agropecuária na região. Essa rodovia teve um papel central no início da colonização, quando um grande contingente populacional foi atraído para a região para a sua construção e também devido à oferta de lotes de 2.500 ha nas décadas de 1970, 1980 e 1990 (CASTRO;

MONTEIRO; CASTRO, 2002). Desde então a ocupação na região ocorreu tendo como eixo principal a rodovia BR-163 e se caracterizou pela presença de uma população predominantemente rural, cuja densidade variou de acordo com as perspectivas e ciclos econômicos associados à extração de madeira, mineração, pecuária e instalação de infraestrutura. As grandes dinâmicas populacionais e de uso e cobertura da terra identificam a região como uma área de fronteira de ocupação agropecuária que se intensificou a partir do final da década de 90 (BECKER, 2005; ESCADA et al., 2009; AMARAL et al., 2012; DAL’ASTA et al., 2017).

Figura 3.1: Mapa da área de estudo com desmatamento até o ano de 2014.



Dados de desmatamento PRODES (INPE, 2019), assentamentos rurais, terra indígena e glebas federais do INCRA (2019) e unidades de conservação do ICMBio (2019).

Fonte: Produção do Autor.

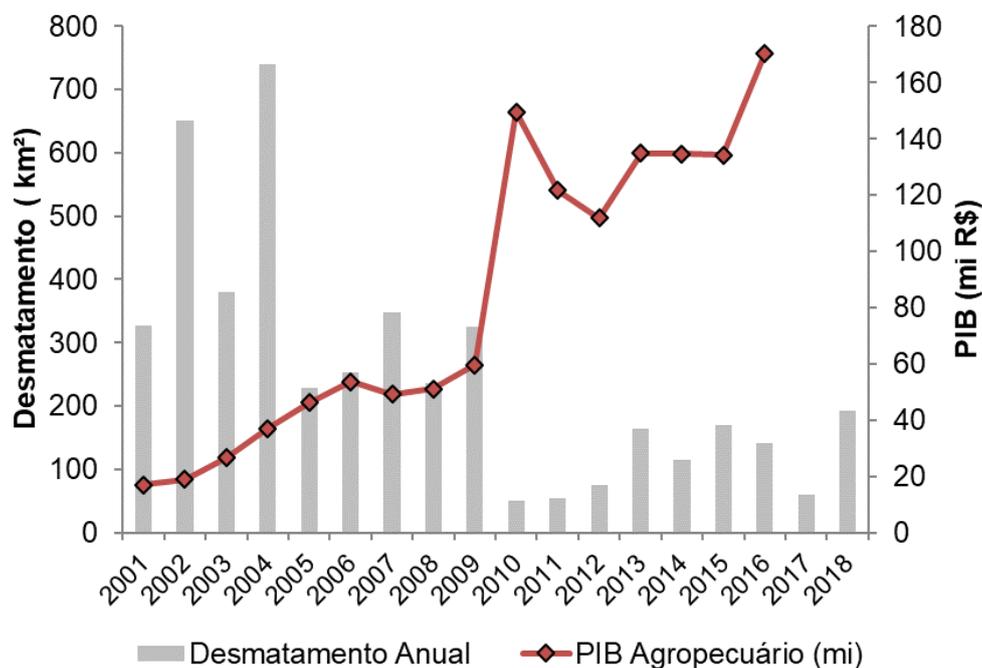
Na área de estudo, destacam-se a presença de uma Unidade de Conservação, a Flona Jamanxim, criada em 2006, a Terra Indígena Baú, demarcada em 2008, mas em processo de requisição desde de 1991, tradicionalmente ocupada. Há assentamento rurais como o PDS (Projeto de Desenvolvimento Sustentável) Vale do Jamanxim, criado em 2005; PDS Nelson de Oliveira, criado em 2006; o PDS Terra Nossa criado em 2006, PA (Projeto de Assentamento) Nova Fronteira criado em 1982, PA Santa Júlia, criado em 1997. Além disso, a área é quase toda tomada por glebas públicas, que são terras à margens das rodovias que foram federalizadas na década de 1970 com intuito de dominar e controlar o território por parte do Governo federal (ROCHA; GONÇALVES, 2017).

A vegetação natural é caracterizada predominantemente pela Floresta Ombrófila Densa, com árvores que podem atingir 50 m de altura e biomassa média de 281 Mg.ha⁻¹, podendo ser encontradas, em menor proporção, manchas de savanas amazônicas (VIEIRA et al., 2004). De acordo com a classificação de Köppen, o clima é tropical de monções (Am), quente e úmido, com precipitação anual variando entre 1.800 a 2.800 mm, e estações definidas como chuvosa (janeiro a julho) com máxima mensal de 370 mm e seca (agosto a dezembro) com máxima mensal de 47 mm, pouca variação térmica, em que meses mais quentes tem média de 28,6 °C e os meses mais frios de 25,9 °C (ALVARES et al., 2013).

A Figura 3.2 apresenta a área desmatada anual mapeada pelo PRODES e o Produto Interno Bruto (PIB) da produção agropecuária no município de Novo Progresso para os anos de 2001 até 2018 (IBGE, 2016; INPE, 2019). Pode-se observar que após um pico de desmatamento em 2004, as taxas diminuíram nos anos seguintes, como ocorreu em toda a Amazônia (INPE, 2019). Por outro lado, enquanto as taxas de desmatamento tendem a diminuir, o PIB do setor agropecuário cresceu ao longo do período, o que mostra que a produção local não aumenta necessariamente com a supressão das áreas de floresta nativa. Da mesma maneira que Costa (2016) observou esse fenômeno para a

Amazônia Legal, a análise desses dois fatores mostra que há um desacoplamento entre o PIB do setor analisado com os dados de desmatamento, indicando que fatores relacionados com o mercado da terra podem estar atuando na região. Neste caso, o que pode ter influenciado na redução das taxas de desmatamento, foram as políticas de fiscalização e o PPCDam (Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal) que desenvolveu ações integradas e interviu na região tendo em vista o controle do desmatamento.

Figura 3.2: Taxas de desmatamento anual e PIB agropecuário em Novo Progresso, PA.



Dados de desmatamento PRODES INPE (2019) e PIB agropecuário IBGE (2016).

Fonte: Produção do Autor.

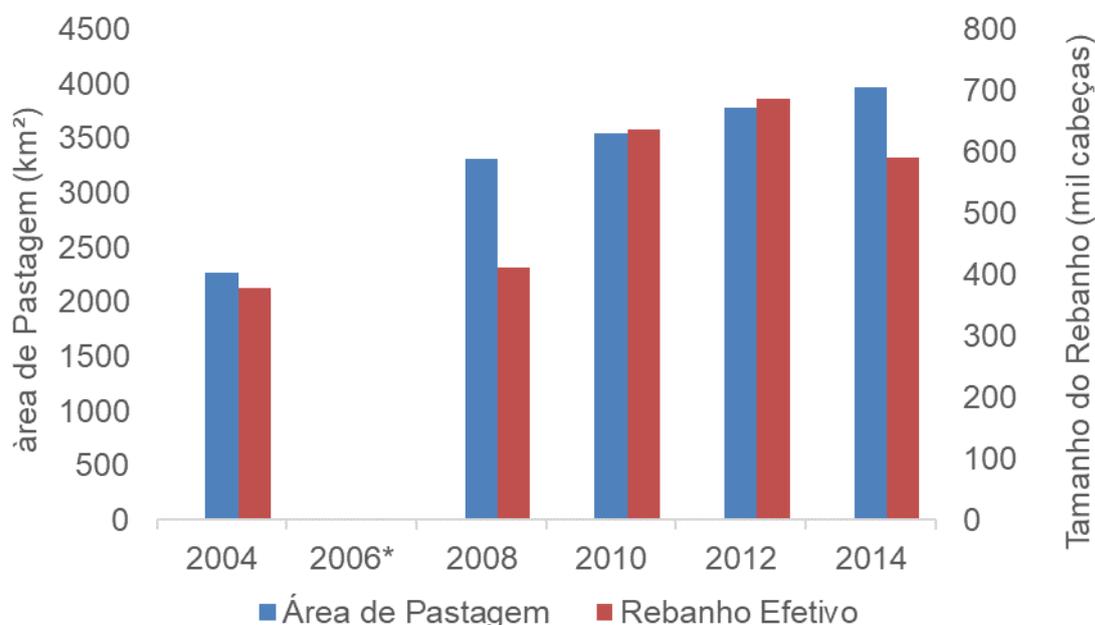
Nesta região, atividades locais, como a extração de madeira, intensificaram-se com a perspectiva do asfaltamento da BR 163 no final da década de 90 e início dos anos 2000, o que resultou em um aumento da migração para essa área.

No entanto, com intervenção federal em 2005 (ALAP – Área sob Limitação Administrativa Provisória) e em 2006 com a criação de uma política para a implantação do Distrito Florestal Sustentável (DSF) da BR-163 (BRASIL, 2005, 2006a), além da criação de um mosaico de Unidades de Conservação, toda a região foi afetada e o desmatamento foi arrefecido. Parte da população se deslocou para outros locais, em busca de terras e de novas oportunidades econômicas, havendo uma redução da população. Em 2000, o município de Novo Progresso contava com 24.948 pessoas e em 2007 esse número passou para 21.598, com uma redução de quase 50% abaixo das projeções realizadas pelo IBGE (ALVES et al., 2008; ESCADA et al., 2009; IBGE, 2016).

Dados oficiais indicam que Novo Progresso estava na 3ª posição de desmatamento entre os 772 municípios da Amazônia Legal em 2004, contabilizando 740 km² de incremento de área desmatada. Em 2014, apesar da redução do desmatamento, o município ainda encontrava-se entre os sete primeiros dessa lista, com 115 km², cuja região foi considerada como prioritária para as ações de fiscalização e prevenção ao desmatamento (INPE, 2019).

As principais atividades econômicas da área são a pecuária (Figura 3.4), a extração de madeira e a mineração. Apesar de arrefecida, a atividade madeireira continuou ocorrendo na região, sendo influenciada pela conexão com outros centros urbanos, pela BR-163, principalmente com os municípios do norte do estado do Mato Grosso (AMARAL et al., 2012). A atividade que mais demanda terra na Amazônia é a pecuária extensiva, porém a evolução da área de pastagem nem sempre acompanhou o crescimento da produtividade (COSTA, 2016). A Figura 3.3 apresenta como evoluíram as áreas de pastagem e o tamanho do rebanho em Novo Progresso, PA.

Figura 3.3: Evolução da área de pastagem e tamanho do rebanho de gado em Novo Progresso, PA.



*Ano sem dados.

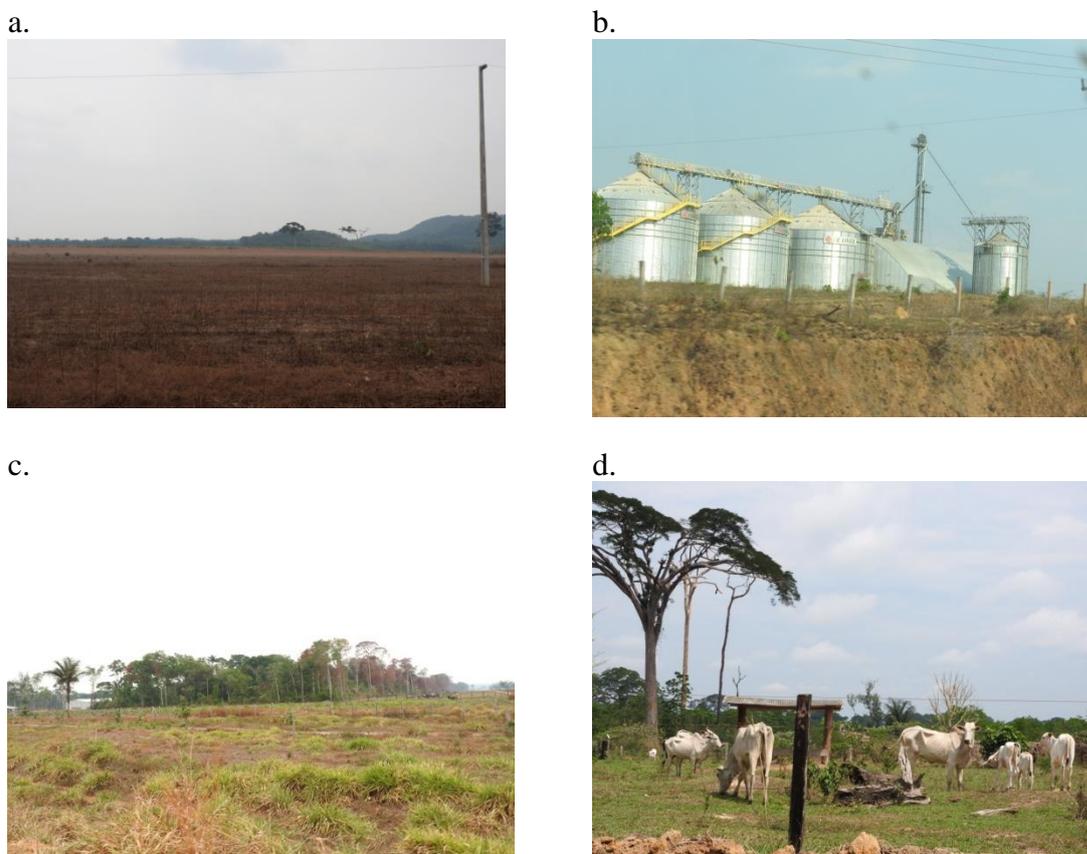
Dados de rebanho efetivo IBGE (2016) e dados de área de pastagem EMBRAPA, INPE (2019).

Fonte: Produção do Autor.

De acordo com o levantamento da Produção Pecuária Municipal (PPM), o efetivo bovino era de 412,4 mil cabeças em 2008, atingindo 687,2 mil cabeças em 2012 e em 2014 apresentou 590,2 mil cabeças e as áreas de pastagens no mapeamento do uso e cobertura pelo projeto TerraClass tem tendência crescente, saindo de 3811 km² em 2008 para 4162 km² em 2014 (IBGE, 2016; EMBRAPA; INPE, 2019). Estas informações mostram que na região o aumento da pastagem não está diretamente relacionado com a demanda por terra para pasto, indicando mais uma vez que as terras podem estar sendo utilizadas para especulação imobiliária, conforme aponta Costa (2016). A soja (Figura 3.4) está presente em Novo Progresso também, porém mais tímida, com 2.400 ha de área plantada em 2004 e apenas 500 ha plantados em 2014. Em 2016, porém, foi estimada pela Pesquisa Agropecuária Municipal (PAM), a existência de 5.000 ha de soja no município (IBGE, 2016), o que indica uma tendência de expansão dessa cultura na região, devido a pavimentação da Br-163 e

instalação de portos graneleiros em Itaituba (DAL'ASTA et al., 2017). O estabelecimento da pavimentação da rodovia na região entre 2012 e 2013 possibilitou que outros empreendimentos chegassem a Novo Progresso, juntando-se a cadeia produtiva da pecuária presente na região (AMARAL et al., 2012; DAL'ASTA et al., 2017). A estruturação do porto graneleiro em Itaituba (PA), a instalação de silos de armazenagem, de frigoríficos e laticínios após 2013, deram maior dinamismo às atividades econômicas e aumentaram as expectativas econômicas para os anos subsequentes, o que justifica o recorte temporal das análises desse trabalho, que abrangeu o período de 2014 a 2017.

Figura 3.4: Exemplos de sistemas agropecuários.



Fotos obtidas em campo (2018) de uso da terra e dos sistemas agropecuários desenvolvidos na região: (a) Áreas destinadas à produção de soja em larga escala e (b) silos de armazenagem; (c) Pasto destinado a pecuária e (d) gado no pasto próximo de área de floresta.

Fonte: Produção do Autor.

3.2 Dados

Neste tópico, são apresentados os materiais que subsidiaram as análises realizadas neste trabalho, apresentando e descrevendo os dados utilizados. As análises foram feitas, sobretudo, com o uso de dados secundários, porém, houve a necessidade de complementação e avaliação dos dados gerados com dados de campo. Esses procedimentos são detalhados na seção de métodos.

Foram utilizados diferentes tipos de dados, entre dados temáticos, cartográfico e de sensoriamento remoto. Os dados e suas fontes estão apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Dados utilizados.

Tipo	Dado	Representação	Fonte	Ano
Temático	Mapa de áreas de Desmatamento	Vetorial (polígonos)	PRODES - INPE	2014 a 2017
	Mapa de indícios de degradação florestal	Vetorial (Polígonos)	Pinheiro (2015)	2010 e 2011
			O autor	2012 e 2013
Mapa de uso e cobertura do Solo	Vetorial (polígono)	TerraClass - INPE, EMBRAPA	2014	
Cartográfico	Estradas e Rodovias	Vetorial (linha)	Imazon	2012
			O autor	2014
	Hydrografia	Vetorial (linha)	BANON e NOVO (2018)	2018
	Unidades de Conservação	Vetorial (polígono)	MMA - ICMBio	2017

(continua)

Tabela 3.1: Conclusão.

Tipo	Dado	Representação	Fonte	Ano
Cartográfico	Imóveis Rurais	Vetorial (polígono)	CAR (Cadastro Ambiental Rural) e INCRA	2018
	Assentamentos Rurais	Vetorial (polígono)	INCRA	2018
	Embargos	Vetorial (polígono)	IBAMA	2005 até 2013
	Centros Urbanos	Vetorial (polígono)	TerraClass	2014
Modelo Digital de Elevação	SRTM	Matricial (Raster)	USGS	2018

Fonte: Produção do autor.

Os dados de floresta degradada descritos na Tabela 3.1 são provenientes do trabalho desenvolvido por Pinheiro (2015). A autora mapeou anualmente áreas de floresta degradadas para a mesma região de estudo (cena Landsat 227/65) entre 1984 e 2011. Os dados de degradação para os anos de 2012 e 2013 foram complementados utilizando a mesma metodologia de Pinheiro (2015), descrita na Seção 3.3.1. O trabalho utilizou a mesma definição de floresta degradada adotada nos programas de monitoramento do INPE, que consiste na redução do dossel de forma gradual e em longo prazo, devido a eventos de incêndio florestal e/ou extração madeireira insustentável (INPE, 2008). Essa definição foi a mesma adotada neste trabalho.

O mapa de estradas foi obtido junto ao Imazon (Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia) que realizou o mapeamento das estradas de toda

Amazônia até o ano de 2012 (Brandão Jr; Souza Jr, 2006). Estes dados foram mapeados visualmente com o auxílio de composição de imagens para realçar as fisionomias de estradas. Posteriormente, a verificação foi realizada com dados oficiais. Neste trabalho, este dado foi complementado até o ano de 2014 e o método empregado nesta atualização é descrito em detalhes na Seção 3.3.1.

Os dados de imóveis rurais utilizados são provenientes do INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) e do Cadastro Ambiental Rural (CAR), e possuem diferentes definições. Os dados do INCRA são os imóveis certificados por este órgão e que estão disponíveis publicamente na plataforma do SIGEF (Sistema de Gestão Fundiária), que inclui também imóveis do Programa TerraLegal. O CAR foi criado em 2012 no âmbito do Sistema Nacional de Informação sobre o Meio Ambiente (SINIMA) e é um registro público obrigatório a todos os imóveis rurais do país. O intuito desse cadastro é obter informações ambientais das propriedades e posses rurais, como por exemplo, a Área de Preservação Permanente (APP), área de uso restrito, Reserva Legal (RL) etc., para servir de subsídio ao controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento. A inscrição é feita de forma declaratória e homologada pelas secretarias de meio ambiente estadual sendo necessário o declarante apresentar documentos de comprovação de propriedade ou posse do imóvel rural, assim como informações georreferenciadas do perímetro do imóvel (MMA, 2014). Antes do uso do dado do CAR, foram retirados os polígonos duplicados em que as inscrições foram canceladas no cadastro.

O dado de Modelo Digital de Elevação (MDE) foi obtido do Serviço Geológico Norte Americano (USGS, do inglês *United States Geological Survey*) que utiliza dados de radar da missão americana *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) para gerar um modelo de elevação para quase todo o globo, com resolução espacial de 30 m (USGS, 2015). O dado de drenagem utilizado foi gerado por Banon e Novo (2018), em que os cursos dos rios foram mapeados

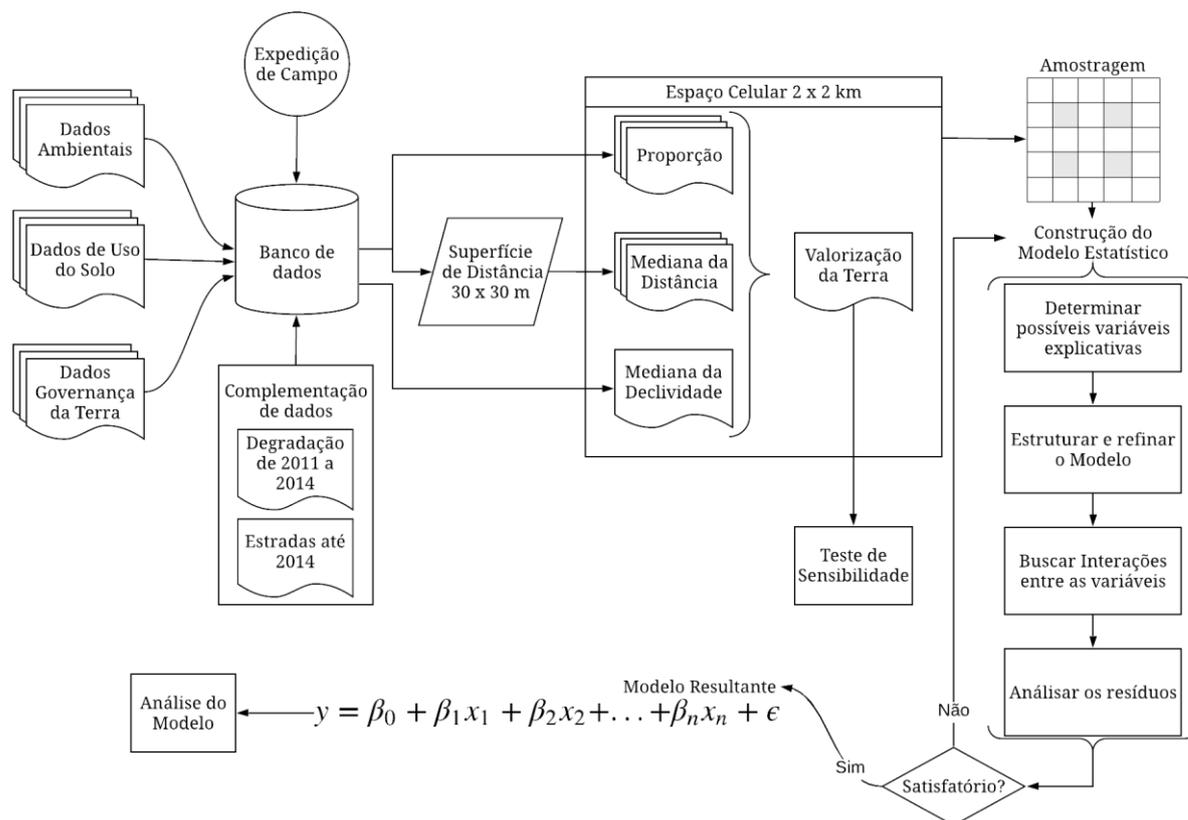
sobre o MDE por meio de um algoritmo de classificação do tipo árvore de decisão, a partir da mineração de dados dos atributos do MDE.

O dado do TerraClass que é um mapeamento visual do uso e cobertura das áreas desmatadas na Amazônia legal elaborado pelo esforço em conjunto do INPE e da EMBRAPA serviu de subsídio para obter o uso e cobertura e também a mancha urbana na área de estudo. Os dados de governança do território foram obtidos on-line nos sites de órgãos oficiais como o INCRA, ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade), FUNAI (Fundação Nacional do Índio) e IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis).

3.3 Métodos

A Seção 3.3.1 aborda sobre o levantamento realizado por meio de expedição de campo de elementos que serviram de subsídios para compreender as dinâmicas do mercado de terra na região de estudo e elaborar conceitualmente o índice de valorização da terra. A Seção 3.3.2 trata da atualização realizada em relação aos dados de estradas e degradação florestal. Posteriormente, na Seção 3.3.3, são descritos os procedimentos para a obtenção de cada variável no espaço celular. A Seção 3.3.4 apresenta o método utilizado para abordar o indicador espacial de valorização da terra com representação celular. Por fim, a Seção 3.3.5 descreve como foi realizado o processo de elaboração do modelo de regressão desse estudo. Com o intuito de ilustrar e fornecer um panorama geral da metodologia, a Figura 3.5 apresenta um diagrama esquemático das etapas seguidas.

Figura 3.5: Fluxograma geral da metodologia para o desenvolvimento do modelo de regressão.



Fonte: Produção do Autor.

Todos os dados utilizados no trabalho e as informações de campo alimentaram um banco de dados que subsidiou todas as etapas da metodologia. Nas seções seguintes, serão tratados em detalhes a complementação dos dados de degradação e estradas, a obtenção das variáveis no espaço celular, a elaboração da variável de valor da terra, o experimento amostral e o processo de modelagem realizado.

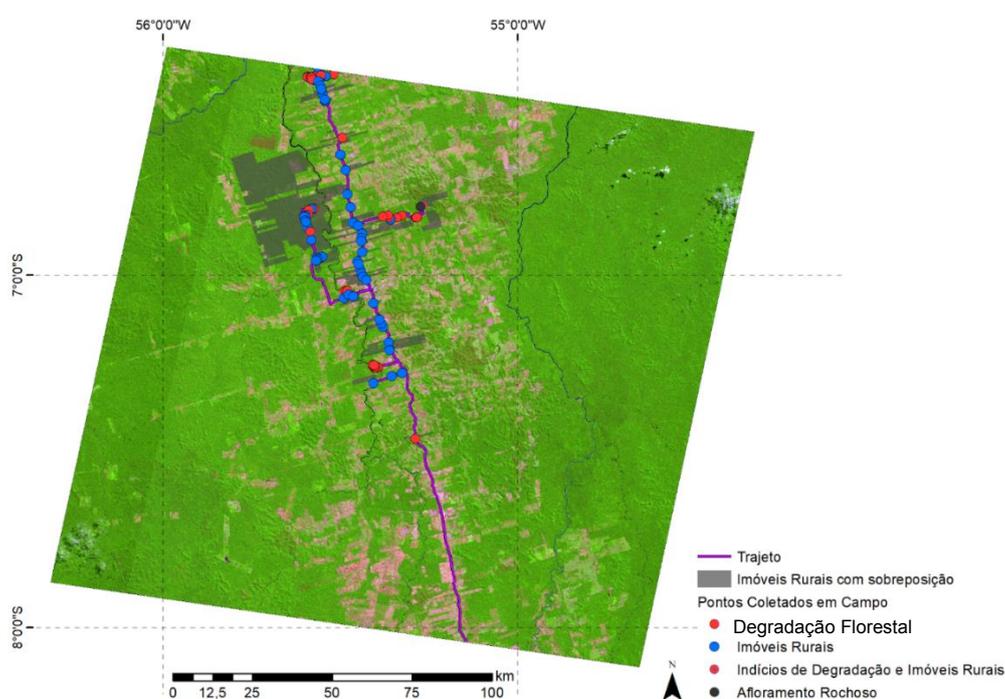
3.3.1 Levantamento em campo dos fatores estudados

Expedição de campo foi realizada para a área de estudo com o objetivo de coletar dados e inspecionar pontos de degradação florestal, presença de afloramento rochoso, verificar o dado de estradas e verificar a delimitação de

imóveis rurais. A **Figura 3.6** mostra o mapa com a trajetória e pontos coletados em campo. A expedição contou com o uso de gps de navegação GPSmap Garmin 62s, computador de bordo com software TrackMaker® Pro 4.1, Câmera NIKON COOLPIX P610 com localizador geográfico para as fotos e gravador de voz digital Sony PX470 série PX.

Durante a expedição foram entrevistados 8 produtores rurais da região e representantes de instituições como, INCRA, ICMBio, EMATER (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural) e prefeitura da cidade de Novo Progresso, PA. As informações coletadas nas entrevistas e a delimitação dos imóveis rurais subsidiaram a compreensão de questões relativas ao mercado de terras e a estrutura fundiária na região. O roteiro de perguntas usado nas entrevistas é apresentado no APÊNDICE .

Figura 3.6: Mapa com pontos e trajetórias da expedição de campo.



Fonte: Produção do Autor.

Os elementos de interesse para checagem em campo foram identificados previamente. Áreas de degradação e dados de estradas obtidos por meio de classificação de imagens, descrita na Seção 3.3.2, foram avaliados durante o campo. Os imóveis rurais do CAR foram verificados em relação às sobreposições encontradas nos polígonos de imóveis rurais, na unidade de conservação e nos assentamentos rurais. Os polígonos dos imóveis do CAR também foram verificados em relação à divisão física entre as propriedades, como cercas. Ao todo, foram visitados 58 pontos referentes a imóveis rurais.

Por fim, foram coletados 46 pontos para verificação de degradação florestal e afloramento rochoso que serviram para avaliar o mapeamento da degradação florestal na área de estudo. Ao todo, foram percorridos 511,4 km na área de estudo utilizando os dados de estradas, de forma que foi possível avaliar a qualidade do dado com a verdade de campo.

3.3.2 Atualização e complementação dos dados de estradas e de degradação florestal

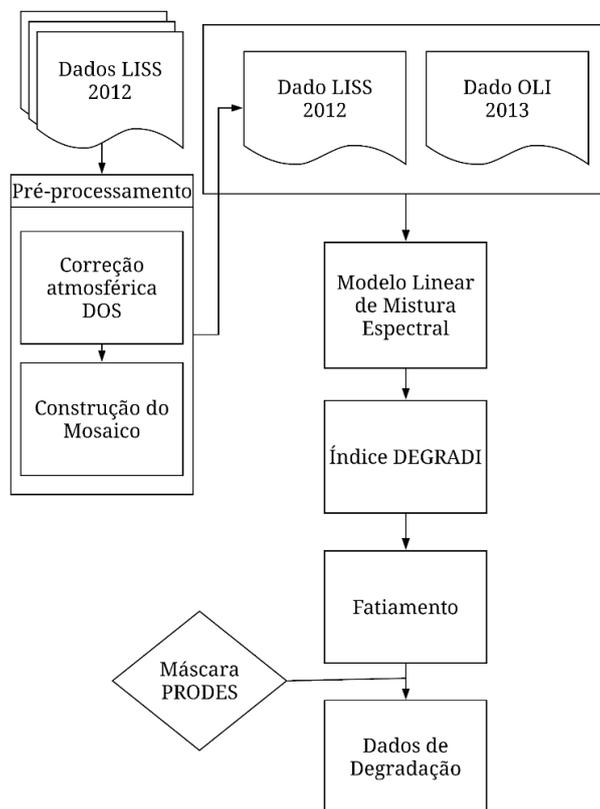
A metodologia do mapeamento das estradas é descrita por Brandão e Souza (2006). Neste trabalho, os autores realizaram o mapeamento de 1985 até 2001, utilizando imagens na faixa do espectro do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas (bandas 3, 4 e 5 respectivamente) dos sensores Thematic Mapper TM e Enhanced Thematic Mapper (ETM+) dos satélites Landsats 5 e 7. O método consistiu em identificar feições lineares retas ou curvas que representam estradas nas seguintes categorias: estradas visíveis, estradas fragmentadas e estradas parcialmente visíveis. Para isso, as imagens foram empregadas em composição 5-4-3 das bandas nos canais RGB (canal vermelho = banda 5, verde = banda 4 e azul = banda 3). Os dados resultantes foram comparados com informações oficiais produzidas pelo IBGE e INCRA. As estradas coincidentes foram designadas como estradas oficiais, enquanto o restante foi designado como estradas não oficiais.

Recentemente o mapeamento das estradas foi atualizado até o ano de 2012 utilizando imagens e procedimentos compatíveis com a metodologia original

(IMAZON, 2019). Neste caso, os autores utilizaram dados provenientes de satélites Landsat (sensor ETM+) e Resourcesat (sensor *Linear Imaging Self-Scanner* – LISS 3). Para este trabalho, o mapeamento foi complementado até o ano de 2014, empregando-se o mesmo método, originalmente descrito por Brandão e Souza (2006), porém com imagens do sensor OLI (*Operational Land Imager*) a bordo do satélite Landsat 8.

A atualização dos dados de degradação florestal seguiu a metodologia elaborada por Pinheiro (2015), com adaptações propostas por Capanema (2017). Neste trabalho, os dados foram complementados com dados dos anos de 2012 e 2013. No ano de 2012 foram utilizados dados do sensor LISS 3 do Resource Sat-1, pois não havia disponibilidade de dados da série Landsat. Foram necessárias 5 imagens para cobrir toda a área de estudo. Para o ano de 2013, foi utilizada uma imagem do sensor OLI/Landsat 8. Todas as imagens utilizadas são referentes ao período seco de cada ano, entre os meses de agosto e setembro. A **Figura 3.7** apresenta o diagrama esquemático da metodologia utilizada para mapear a degradação florestal.

Figura 3.7: Diagrama metodológico para a produção de dados de degradação florestal dos anos de 2012 e 2013 para complementação da série.



Fonte: Produção do Autor, adaptado de Capanema et al. (2018), Pinheiro (2015) e INPE (2008).

As imagens LISS foram submetidas ao pré-processamento realizado no programa Envi. A primeira etapa do pré-processamento consistiu em minimizar a interferência do espalhamento atmosférico nas variações de amplitudes radiometrias entre as imagens LISS 3. Para isso, adotou-se o procedimento *Dark Object Substraction* (DOS), em que o número digital é subtraído de todos os pixels, o valor do objeto com menor resposta espectral na imagem. Com as imagens corrigida, construiu-se o mosaico das imagens para toda a área de estudo.

A partir das imagens de cada ano, utilizou-se as bandas espectrais correspondentes ao vermelho ($\lambda=630$ a 690 nm), infravermelho próximo ($\lambda=760$

a 900 nm) e infravermelho médio ($\lambda=1,150$ a $1,750$ nm) no Modelo Linear de Mistura Espectral dos pixels para extrair as frações solo, sombra/água e vegetação. Posteriormente, obtiveram-se as imagens índice DEGRADI, resultados da razão simples entre as imagens da fração solo e da fração vegetação extraídas pelo MLME (INPE, 2008).

A imagem DEGRADI foi fatiada e subtraída da máscara PRODES que consiste no desmatamento acumulado no ano para manter somente os pixels que representam a degradação florestal por corte seletivo e fogo florestal. O limiar para o fatiamento foi determinado de forma empírica para cada ano.

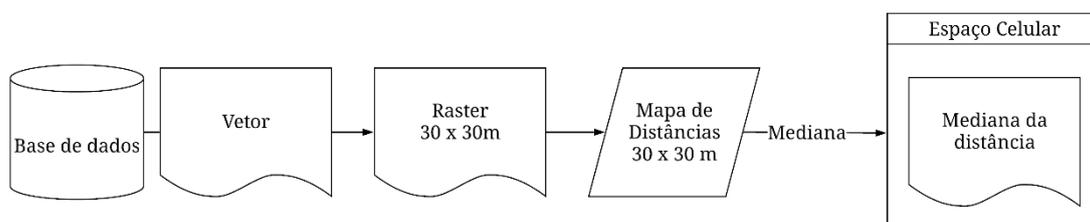
3.3.3 Construção das variáveis utilizadas

A espacialização das variáveis foi realizada em espaço celular de 2×2 km². Esta resolução se mostrou adequada durante os testes realizados para capturar a complexidade da estrutura da paisagem. Saito et al. (2011) testaram diferentes resoluções espaciais de grade celular para o estudo do desmatamento a Amazônia (40, 50, 60 e 70 km). Neste trabalho, foram testadas diversas métricas estruturais de paisagem e análises de sensibilidade foram realizadas para as células com diferentes tamanhos. Os autores concluíram que a maioria das métricas utilizadas não era sensível às resoluções espaciais testadas quanto à capacidade de discriminação dos padrões espaciais de desmatamento. A definição da escala de trabalho depende do processo que se pretende analisar, assim, quanto menor os objetos avaliados, menor deve ser o tamanho da célula (SAITO et al., 2011).

As variáveis foram obtidas a partir dos dados calculando-se a proporção ou as distâncias dos elementos avaliados dentro de cada célula. No caso da declividade, foi extraído diretamente a mediana, em porcentagem, dentro de cada célula. As distâncias foram calculadas obtendo-se a mediana dentro de cada célula a partir de um mapa de distâncias calculado para grades com resolução de 30×30 m oriundos da representação em raster na mesma resolução dos vetores dos dados (**Figura 3.8**). Para gerar a superfície raster dos dados, foi utilizado o algoritmo *rasterize* da plataforma de distribuição de

algoritmos SAGA (*System for Automated Geoscientific Analyses*) e a superfície de distância foi gerada com o algoritmo *r.grow.distance* do Sistema de Suporte Análise de Recursos Geográficas (da sigla em inglês – GRASS). Por fim, a mediana da distância foi calculada utilizando a ferramenta de estatística zonal. Todo este processamento foi realizado no sistema de informação geográfica QGIS. As variáveis de proporção foram calculadas utilizando o gerenciador de script de preenchimento de célula FillCell baseado na linguagem “lua”.

Figura 3.8: Diagrama metodológico para o cálculo das variáveis de mediana da distância.



Fonte: Produção do autor.

O fenômeno em estudo foi representado pela proporção de incremento de desmatamento do período de 2014 até 2017.

A Tabela 3.2 apresenta todas as variáveis estudadas para elaborar o modelo de regressão do desmatamento na área de estudo. As premissas esperadas para a análise dessas variáveis, a operação realizada no processo de construção de cada variável, o limiar utilizado, os dados e suas respectivas fontes estão evidenciadas na Tabela 3.2. Todas as variáveis foram transformadas para um índice entre 0 e 1. Portanto, para cada variável foi estabelecido empiricamente um limiar para realizar esta normalização. Assim valores maiores do que o estabelecido no limiar, foram saturados em 1, conforme:

$$\begin{aligned} \text{se } x \leq \text{limiar} \text{ então: } x_i &= \frac{x}{\text{limiar}} \\ \text{se } x > \text{limiar}, \text{ então: } x_i &= 1 \end{aligned} \quad (3.1)$$

em que x_i é a variável transformada para índice e x é a variável original e o *limiar* é um valor estabelecido para cada variável empiricamente.

Tabela 3.2: Premissas, limiares e dados usados para gerar cada variável.

	Sigla do índice	Variável	Premissa	Limiar	Dados
1	AST-d	Distância (m) de assentamentos	Quanto mais próximo de assentamentos, menor o incremento de desmatamento	20000	Assentamentos
2	AST-p	Proporção de assentamentos	Quanto maior a proporção de assentamento, menor o incremento de desmatamento	1	
3	TI-d	Distância (m) de terras indígenas	Quanto mais próximo de terras indígenas, menor o incremento de desmatamento	40000	Terra Indígenas do Brasil
4	TI-p	Proporção de terras indígenas	Quanto maior a proporção de terras indígenas, menor o incremento de desmatamento	1	
5	UC-d	Distância (m) de unidades de conservação	Quanto mais próximo de unidades de conservação, menor o incremento de desmatamento	80000	Unidades de conservação do Brasil
6	UC-p	Proporção de unidades de conservação	Quanto maior a proporção de unidade de conservação, menor o incremento de desmatamento	1	Unidades de conservação do Brasil
7	BR-d	Distância (m) da BR-163	Quanto mais próximo da rodovia BR -163, maior o incremento de desmatamento	50000	Estradas
8	EST-d	Distância (m) de estradas vicinais	Quanto mais próximo a estradas, maior o incremento de desmatamento	6000	

(Continua)

Tabela 3.2: Continuação.

	Sigla do índice	Variável	Premissa	Limiar	Dados
9	RIO-d	Distância (m) da rede de drenagem	Quanto mais próximo de cursos d'água, menor o incremento de desmatamento	10000	Hidrografia
10	AU-d	Distância (m) de área urbana	Quanto mais próximo a áreas urbanas, maior o incremento de desmatamento	60000	Classe área urbana do TerraClass
11	DEG-d	Distância (m) de indícios de degradação	Quanto mais próximo de áreas degradadas, maior o incremento de desmatamento	10000	Indícios de degradação de 2010 até 2013
12	DEG-p	Proporção de indícios de degradação dentro da célula	Quanto maior a proporção de indícios de degradação, maior o incremento de desmatamento	0,2	
13	DCV	Declividade (%) dentro de cada célula	Quanto menor a declividade, maior o incremento de desmatamento	13	Modelo digital de elevação
14	AB-p	Proporção de área aberta	Quanto maior a proporção de área aberta, menor o incremento de desmatamento	1	Classes pasto e agricultura do TerraClass
15	VS-p	Proporção de vegetação secundária	Quanto maior a proporção de vegetação secundária, menor o incremento de desmatamento	1	Classe vegetação secundária do TerraClass
16	EMB-p	Proporção de embargo	Quanto maior a proporção de embargo, maior o incremento de desmatamento	2	Embargos de 2005 até 2013
17	FLR-p	Proporção de cobertura florestal	Quanto maior a proporção de cobertura florestal, maior o incremento de desmatamento	1	Cobertura florestal de 2013, PRODES

(Continua)

Tabela 3.2: Conclusão.

	Sigla do índice	Variável	Premissa	Limiar	Dados
18	CRT-d	Distância (m) de imóveis rurais certificados	Quando mais próximo à imóveis certificados, menor o incremento de desmatamento	25000	Imóveis rurais do TerraLegal e Sigef
19	CRT-p	Proporção de imóveis rurais certificados	Quanto maior a proporção de imóveis rurais certificados, menor o incremento de desmatamento	1	
20	INC-d	Distância (m) de imóveis rurais inconsistentes	Quanto mais próximo a imóveis rurais inconsistentes, maior o incremento de desmatamento	20000	Imóveis rurais do CAR e unidades de conservação e assentamentos
21	INC-p	Proporção de imóveis rurais inconsistentes	Quanto maior a proporção de imóveis rurais inconsistentes, maior o incremento de desmatamento	1	
22	IR-m	Tamanho médio (km ²) dos imóveis rurais	Quanto maior o tamanho dos imóveis dentro da célula, maior será o incremento de desmatamento	25	Imóveis rurais do CAR
23	IR-n	Número de imóveis rurais	Quanto maior o número de imóveis rurais, menor será o incremento do desmatamento	14	
24	D13-d	Distância (m) de área desmatada até 2013	Quanto mais próximo área desmatada até 2013, maior o incremento de desmatamento	1000	Desmatamento até 2013, PRODES
25	D13-p	Proporção de área desmatada até 2013	Quanto maior a proporção de área desmatada até 2013, menor o incremento de desmatamento	1	

Fonte: Produção do Autor.

A proporção de área com cobertura florestal até 2013 tem relação direta com a proporção de incremento de desmatamento, pois a área de perda florestal é

limitada pelo estoque de floresta presente na célula. A mesma lógica se dá em relação a variável proporção de área desmatada até 2013, porém a relação é inversa. O mesmo ocorre para a proporção de área aberta e vegetação secundária. Estes dados são oriundos do mapeamento do TerraClass que identifica o uso e cobertura da terra em áreas que anteriormente o PRODES mapeou como desmatamento (INPE, 2008; ALMEIDA et al., 2016).

As variáveis relacionadas com rios, estradas, centros urbanos e áreas já desmatadas foram consideradas, pois vários estudos têm demonstrado a relação delas com o desmatamento (SOARES-FILHO, 2004; XIMENES et al., 2008; FEARNSIDE et al. 2009). A distância às áreas já desmatadas e à infraestrutura apresentam em geral uma relação positiva com a área desmatada, enquanto que para variáveis relacionadas com distância a rios, a relação pode ser inversa. Por outro lado, as variáveis relacionadas a unidades de conservação e terras indígenas podem representar fatores de inibição do desmatamento, uma vez que são áreas protegidas e podem apresentar maior governança devido a presença e arranjos institucionais que atuam no controle da ocupação no território (SOARES-FILHO, 2004, VERBURG, 2014).

A declividade foi empregada como variável ambiental. Foi calculada a mediana da declividade dentro de cada célula, pois além de representar adequadamente a topografia do terreno, diminui o efeito de possíveis erros oriundos do modelo digital de elevação. Essa variável se relaciona com o desmatamento devido ao fato de que terrenos mais planos, em geral, são mais propícios para o desenvolvimento de atividades agropecuárias devido à possibilidade de mecanização. A mecanização é viável em terrenos com até 13% de declividade em solo não pedregoso (PEREIRA, 2002; PEREIRA, LOMBARDI NETO, 2004), esse valor foi utilizado como limiar para representar essa variável na célula.

A estrutura fundiária foi representada por variáveis geradas a partir de medidas de proporção de área e distância das unidades de conservação, terra indígena, assentamentos, imóveis certificados pelo SIGEF do INCRA e também dos

imóveis rurais declarados no CAR. A questão fundiária e a pressão que os grandes produtores e os seus modos de produção geram as demandas por terra se constituindo como fatores que interferem no processo de desmatamento (LUDEWIGS et al., 2009). Os imóveis rurais certificados (CRT) foram incorporados nas variáveis, pois, conforme encontrado nas entrevistas de campo, o desmatamento em propriedades com a posse regularizada espera-se que seja menor, uma vez que o do proprietário corre o risco de autuação pelos órgãos fiscalizadores. Os imóveis rurais com inconsistências (INC) foram identificados devido a sobreposição entre os imóveis do CAR, os limites de assentamentos e unidade de conservação. Empregou-se estas variáveis como indicadores de situações potencialmente conflituosas na disputa por terra em que o desmatamento serviria como caracterização da posse.

As variáveis área desmatamento e vegetação secundária foram consideradas, pois poderiam representar as áreas discutidas por Costa (2016), que correspondem às parcelas de uso do solo onde se desenvolvem atividades econômicas. Este autor defende que, onde há pastagem e agricultura em larga escala, estão os modelos de desenvolvimento cuja a demanda por terra é maior, no caso, a vegetação secundária, representa porções de reserva de terra em que a ocupação pode se expandir.

O uso das variáveis de degradação florestal se deu devido à relação da trajetória dessas áreas com o desmatamento. Pinheiro et al. (2016) constataram que 70% das áreas de floresta degradada são convertidas para corte raso depois de 4 anos, na região de Novo Progresso. Por isso, foram somados, para a construção desta variável, os dados de degradação florestal de quatro anos antes do período de estudo (2010 a 2013).

Este trabalho também empregou o uso de métricas da paisagem para o desmatamento até 2013. Isso se deve ao fato de que estudos indicam que o processo de desmatamento e ocupação do território podem ser distintos para cada padrão espacial de desmatamento. Os diferentes padrões de

desmatamento podem ser identificados a partir das métricas de paisagem (GAVLAK, 2011; SAITO, 2011; MAURANO, 2018). Portanto, a inclusão das métricas de paisagem foram consideradas para inserir na análise informações sobre os padrões de cobertura da terra da área de estudo. A Tabela 3.3 traz as métricas utilizadas. Informações completas como a forma de cálculo de cada variável são descritas em Anexo A.

Tabela 3.3: Métricas de paisagem para o desmatamento até 2013 utilizadas no estudo.

Sigla	Definição
CA	Somatória da Área dos Fragmentos
PD	Densidade de Fragmentos que é igual ao número de fragmentos dividido pela área da célula.
MPS	Tamanho médio do fragmento. Igual a soma da área dos fragmentos, dividido pelo número de fragmentos.
PSSD	Desvio padrão do tamanho dos fragmentos. Caracteriza a variação do tamanho de todos os fragmentos na célula.
LSI	Índice de forma indica a complexidade da forma de todos os fragmentos e da célula comparando-as a uma forma padrão.
MSI	Índice de forma médio que representa a somatória do índice de forma de todos os fragmentos dividido pelo número de fragmentos
AWMSI	Somatória do índice de forma de cada fragmento multiplicado pela área do fragmento ponderada pela somatória da área de todos os fragmentos na célula.
MPFD	Dimensão fractal média de todos os fragmentos na célula. A dimensão fractal corresponde ao grau de complexidade da forma independente da escala de análise.
AWMPFD	Somatória da dimensão fractal de todos os fragmentos multiplicada pela área do fragmento ponderada pela área total dos fragmentos na célula.
ED	Densidade de borda que consiste no total de borda dos fragmentos presente na célula, dividido pela área da célula.
MPAR	Média da razão perímetro-área de todos os fragmentos na célula.
PSCOV	Coefficiente de variação do tamanho dos fragmentos. Consiste na razão entre PSSD e MPS.
NP	Número de fragmentos presente na célula.
TE	Total de borda de fragmento dentro da célula
TABO	Área total do maior fragmento que intersecta a célula

(Continua)

Tabela 3.3: Conclusão.

Sigla	Definição
BIA	Maior área de intersecção na célula
TAOBIA	Área total do fragmento com maior intersecção na célula.
SHDI	Índice de diversidade de Shannon que expressa a diversidade de diferentes classes dentro das células. Porém, a métrica é calculada apenas para uma única classe. Portanto, se tornou uma transformação logarítmica da proporção de desmatamento até 2013 dentro da célula.
SIDI	Índice de diversidade de Simpson. Como se trata somente de uma classe, representa um menos a transformação quadrática da proporção de desmatamento até 2013 dentro da célula.

Fonte: Adaptado de McGarigal et al (2012).

As métricas foram calculadas com o uso do *plug-in* GeoDMA do sistema de informação geográfica TerraView (INPE, 2011) . Neste *plug-in*, o cálculo das métricas é baseado no programa Fragstats, elaborado por McGarigal et al (2012). Embora o emprego de algumas métricas simultaneamente possa ser redundante, como por exemplo, ED e TE, em que ambas se referem a quantidade de borda dentro de cada célula, todas foram testadas na construção do modelo para encontrar a que melhor se adequava. Por fim, foram mantidas apenas as mais adequadas, para evitar a colinearidade.

3.3.4 Desenvolvimento do Índice de Valorização da Terra (IVT)

Este trabalho buscou representar o potencial de valorização da terra para cada célula em estudo, calculando um Índice de Valorização da Terra (IVT). Alguns trabalhos modelam os fatores relacionados com o valor de imóveis por meio de modelo de regressão múltipla ou abordagem geoestatística (REYDON et al., 2004; PLATA et al., 2005; FERRO; CASTRO, 2013; OLIVEIRA; FERREIRA, 2015; SANTOS et al., 2016). Em todos os casos, os modelos são obtidos a partir de amostras de preço no mercado. Em geral, cada modelo atribui um peso que relaciona cada fator ao valor da terra. Portanto, tomou-se como base para este trabalho, o conceito de que os diversos fatores estão relacionados

com o valor da terra e uma ponderação foi feita em função de sua importância, estabelecendo-se um peso.

Uma vez que não estão disponíveis amostras de valores de imóveis rurais na área de estudo, para a determinação dos pesos de cada fator analisado foi empregado o método de processo analítico hierárquico (do inglês: *Analytical Hierarchy Process – AHP*), que consiste em ponderar diferentes fatores para atender um objetivo geral. Mediante a determinação deste objetivo, realiza-se uma comparação pareada de todos os fatores e deriva-se um peso para cada um (SAATY, 2008).

De acordo com Saaty (2008), o processo de decisão segue as seguintes etapas:

- a) Definição do problema
- b) Estruturação da hierarquia de importância dos diferentes fatores
- c) Comparação pareada entre cada fator
- d) Derivação dos pesos de importância global a partir da comparação pareada dos fatores.

Na comparação pareada, atribui-se valores inteiros de 1 a 9, em que o menor valor evidencia importância igual na comparação entre fatores, e o maior valor indica que um fator é extremamente mais importante do que outro. A explicação para cada peso, pode ser observada na Tabela 3.4.

Tabela 3.4: Escala de valores de intensidade de importância.

Intensidade de Importância	Importância	Explicação
1	Igual	Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo
2	Fraca ou ligeira	
3	Moderada	Um fator é ligeiramente mais importante do que o outro
4	Mais do que moderada	
5	Essencial	Um fator é claramente mais importante do que o outro
6	Mais do que essencial	
7	Fortemente favorecido	Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática
8	Mais do que fortemente favorecido	
9	Extrema	A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível

Fonte: Adaptado de Saaty (2008).

Na concepção dos pesos pelo processo AHP, estabeleceu-se a seguinte questão central: onde a terra é potencialmente mais valorizada? Para responder essa questão, os fatores utilizados foram extraídos das variáveis já obtidas, explicitadas no Item 3.3.3, com base na literatura apresentados na fundamentação teórica e nas entrevistas de campo. As variáveis escolhidas foram elencadas por ordem de importância e algumas foram invertidas, pois sua relação com o valor da terra é inversa, conforme a Equação 3.2 a seguir:

$$x_{inv} = 1 - x_i \quad (3.2)$$

em que x_{inv} é o fator invertido a partir da variável x_i .

Após elencar as variáveis, atribui-se pesos comparativos par a par para se derivar os pesos globais. A consistência da comparação foi determinada pela Razão de Consistência (RC). A RC indica que a escolha dos pesos para a comparação pareada é satisfatória quando é igual ou menor do que 0,1 (SAATY, 2008). A partir da comparação pareada, calcula-se os autovetores normalizados e a média dos autovetores para se derivar os pesos globais. Com os pesos determinados, calculou-se o índice de valorização da terra para cada célula realizando a soma dos fatores nas células, ponderados pelos pesos resultantes.

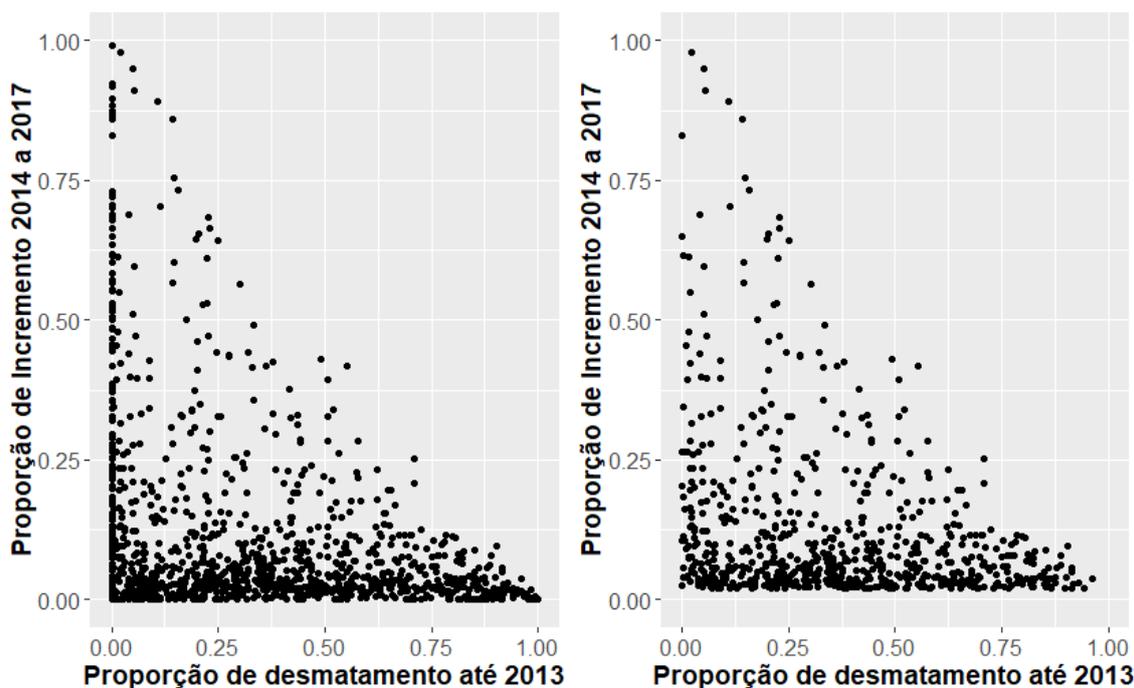
Por fim, com o intuito de validar o resultado obtido dos pesos derivados e do mapa com o índice de valor da terra (IVT), aplicou-se um teste de sensibilidade em que se variou 0,5 para cada importância atribuída na comparação pareada em 1000 simulações e derivou-se os pesos globais novamente para cada simulação. Posteriormente, desprezou-se os casos em que a RC foi maior do que 0,1 e calculou-se o índice de valorização da terra para cada simulação. A sensibilidade para cada célula foi demonstrada pela diferença interquartil (DIQ) que mostra a variabilidade do IVT entre o 1º quartil e o 3º quartil do índice calculado.

3.3.5 Construção do modelo de regressão linear

A construção do modelo de regressão foi realizada constituindo um espaço amostral em que se considerou somente as células com incremento do desmatamento no período de 2014 a 2017. Desse espaço amostral, foram desprezadas as células com proporção de incremento total menor do que 2%, que representam tamanhos de incremento próximos de 6,25 ha (tamanho mínimo de mapeamento do PRODES), e células com proporção de desmatamento até 2013, igual a zero, pois estas células apresentaram comportamentos muito variável quanto ao incremento de desmatamento e se inseridas no modelo, dificultam o processo de modelagem. A Figura 3.9 apresenta os gráficos de dispersão entre proporção de incremento de 2014 a

2017 e proporção de desmatamento até 2013 nas células antes e depois de reconfigurar o espaço amostral.

Figura 3.9: Dispersões entre a proporção de incremento de 2014 a 2017 e proporção de desmatamento até 2013 nas células antes (direita) e depois (esquerda) das restrições no espaço amostral.



Fonte: Produção do Autor.

Estes critérios foram utilizados para remoção das células que nos gráficos aparecem nos pontos próximos aos eixos X e Y, pois se tratavam de incrementos muito pequenos e células que apresentavam 100% floresta. Com tais restrições, o espaço amostral obtido foi de 751 células.

A amostragem foi definida de modo que as células selecionadas representassem todas as proporções de incremento. Para tanto, as células do espaço amostral foram agrupadas em 201 classes a partir da estratificação dos incrementos de 2014 a 2017 pelo método de Fisher-Jenks, ou método de quebras naturais. Este método é indicado para melhor representar os dados

especialmente, agrupando-os de modo a minimizar a variância dentro de cada classe e maximizar a variância entre as classes (JENKS, 1967). Por fim, amostrou-se 1 célula de cada classe, resultando em 201 amostras (26,8% do espaço amostral).

Para a representação do fenômeno estudado, o incremento de desmatamento no período de 2014 a 2017, foi transformado, para a obtenção da variável dependente adequada para a modelagem estatística linear. A representação por meio da proporção dentro da célula impõe o intervalo dos valores ser entre 0 e 1. Devido a esse fato, a forma da função resposta do modelo poderia não ser necessariamente linear, com restrições de máximo e mínimo, mais similares a um modelo logístico. Portanto, aplicou-se uma transformação *logit* para linearizar a representação do fenômeno e possibilitar o emprego do modelo linear para este trabalho. A transformação *logit* é dado por:

$$y' = \text{logit}(y) = \ln\left(\frac{y}{1-y}\right) \quad (3.3)$$

em que y' é a variável proporção de incremento de desmatamento de 2014 a 2017 dentro da célula transformada para variável dependente do modelo e y a variável incremento de desmatamento de 2014 a 2017. Nota-se que com a transformação, y' pode variar entre $-\infty$ e $+\infty$ (NETER et al., 1996).

O modelo foi obtido utilizando o programa R. Inicialmente foram realizadas análises para a redução da quantidade de variáveis independentes, identificando-se aquelas que melhor explicam a variação da variável dependente, ou seja, as com maior significância. Nessa etapa, recorreu-se ao método *stepwise forward* e *backward* que otimiza a busca a cada passo incluindo e retirando as variáveis independentes, avaliando o AIC (do inglês: *Akaike's Information Criterion*) que expressa o ajuste do modelo e também sua

simplicidade, em relação ao número de variáveis utilizadas. Após esse processo, manteve-se no modelo apenas as variáveis significativas a 5%.

Na etapa seguinte, procurou-se refinar o modelo para melhorar o poder explicativo entre as variáveis dependentes. A partir do modelo identificado na etapa anterior, testou-se a interação entre todas as variáveis em estudo. A cada teste, manteve-se a interação que, adicionada ao modelo, resultava no maior R^2 ajustado. Entre cada busca por interações, foram descartadas as variáveis independentes que perdiam significância no modelo. Esse processo foi repetido até chegar em um poder de explicação satisfatório do modelo, representado pelo coeficiente de determinação R^2 . Posteriormente, checkou-se a multicolinearidade das variáveis pelo fator de inflação da variância (VIF - do inglês: *Variance Inflation Factor*). O VIF indica o quanto o coeficiente de uma variável no modelo está afetado pela colinearidade. O valor de VIF abaixo de 10 é satisfatório para evitar problemas com a multicolinearidade (NETER et al., 1996).

Por fim, analisou-se os resíduos do modelo contra cada variável explicativa e também contra a variável predita a fim de identificar quaisquer anomalias no modelo. Na análise dos resíduos, também se testou a homocedasticidade, a normalidade, por meio dos testes de Breusch-Pagan, Shapiro-Wilk e índice de Moran, respectivamente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este Capítulo está organizado em quatro seções em que são apresentados e discutidos os resultados do levantamento dos fatores associados com a valorização mercado de terras, do mapeamento das estradas e da degradação florestal, realizado para complementação dos dados (4.1). Os resultados obtidos da variável indicador de valorização da terra são apresentados na Seção 4.3. Esta seção é importante, pois discute sobre os resultados obtidos para atender o segundo objetivo deste trabalho. Para contemplar os outros objetivos, a Seção 4.4 demonstra a construção do modelo de regressão estatística para o desmatamento e, por fim, na Seção 4.4.1 é onde discute-se sobre os resultados do modelo para o desmatamento, analisando os fatores explicativos encontrados no modelo.

4.1 Levantamento de dados em campo

O levantamento de dados em campo foi realizado em Instituições como o INCRA, ICMBIO e EMATER, por meio de entrevistas que seguiram roteiros pré-estabelecidos.

A entrevista com representantes do INCRA foi realizada na sede da Superintendência Regional 30 (SR30) em Santarém, PA, responsável por toda região oeste do estado do Pará. Esta SR se encontra impossibilitada de criar mais assentamentos rurais desde 2015, pois foi constatado que os imóveis criados por ela tiveram problemas com desmatamento, sendo considerada como um dos maiores desmatadores de vegetação nativa do país. As informações obtidas foram importantes para melhorar a compreensão do funcionamento da criação e gestão dos assentamentos, assim como de aspectos relacionados com a regularização dos imóveis rurais na Amazônia Legal. Hoje a regularização de imóveis rurais particulares está vinculada somente ao programa TerraLegal, que também conta com apoio de funcionários do INCRA. Os entrevistados descreveram o processo de titulação

dos imóveis e como a grilagem de terras públicas está associada à esse processo. Nestas áreas, o CAR (Cadastro Ambiental Rural) é visto como uma ferramenta que possibilita dar legitimidade à posse da terra, se baseando em marcos legais que definem o tamanho máximo dos imóveis para a titulação. No caso da área de estudo, foram apontados exemplos de situações em que os assentados são vítimas de grilagem de seus lotes.

Na entrevista com representantes do ICMBio, foram relatadas as atividades e as dificuldades do órgão para fiscalizar e gerir a Flona (Floresta Nacional) do Jamanxim, principal unidade de conservação presente na área de estudo. Foi observado que a região de Novo Progresso conta com somente um posto avançado de fiscalização, relativo a Unidade Especial Avançada de Itaituba (UNA-Itaituba). Esta unidade é responsável por uma área que compreende a 9,1 milhões ha com 3 parques nacionais (Amazônia, Jamanxim e Rio Novo), 7 Florestas Nacionais (Jamanxim, Itaituba 1 e 2, Altamira, Trairão, Crepori e Amana), 1 Reserva Biológica (Resbio da Serra do Cachimbo) e 1 Área de Proteção Ambiental (APA do Tapajós) com um contingente de 25 funcionários. Esse corpo de funcionários é responsável pela gestão dessas 12 unidades de conservação. Dentre as atividades do órgão, está o ordenamento territorial dentro das unidades de conservação que, mais precisamente na Flona do Jamanxim, precisa lidar com os ocupantes dessas áreas, anteriores à criação da unidade e com outras ocupações irregulares, além de pressões externas. Foi relatado haver uma grande pressão na região para a apropriação das áreas da Flona gerando a perspectiva de desafetação desta Unidade de Conservação. É comum a existência de declarações de imóveis no CAR, dentro da Flona, que tem com o intuito evidenciar a posse da terra para que seja validada e regularizada, ainda que a legislação não ofereça essa possibilidade. De acordo com a entrevista, o desmatamento nas áreas ocupadas é frequentemente realizado para configurar a ocupação e posse, aumentando, assim, a pressão pela terra nessa região.

A Emater (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Pará) foi uma das instituições visitadas. A entrevista realizada nesta instituição trouxe elementos sobre os conflitos por terra na região que, na perspectiva dos entrevistados, não é intenso entre produtores, mas sim entre o estado e os produtores locais. Foi relatada durante a entrevista a forma na qual ocorre a ocupação do território e a grilagem de terra, sendo evidenciada a associação entre a falta de certificação das propriedades e o desmatamento ilegal. Nesta instituição, os entrevistados descreveram como funciona o mercado de terra na região, mencionando fatores importantes relacionados com a valorização da terra na área de estudo, tais como benfeitoria e áreas abertas para produção, situação do acesso ao imóvel, proximidade com os centros urbanos, abastecimento de energia elétrica, localização do imóvel (se está dentro dos limites da Flona Jamaxim ou não), situação fundiária e entre outros.

As conversas com produtores da região tiveram como objetivo elucidar quais são e como se desenvolvem as principais atividades nos imóveis rurais, e quais são os elementos principais para a valorização da terra e a situação de regularização da terra. Em geral, os produtores apontaram que quanto mais próxima das benfeitorias de infraestrutura, como estradas vicinais, rodovia BR-163 e energia, mais valorizada é a terra. A situação das terras também foi apontada como um elemento importante, sendo mais valorizada a área já aberta e disponível para a produção e sem embargos. As entrevistas revelaram que embora grande parte dos embargos ocorra devido a irregularidades ambientais, como por exemplo, o imóvel estar situado dentro de uma unidade de conservação, essas terras continuam sendo comercializadas quando apresentam áreas abertas, porém, com depreciação do seu valor. Outros fatores naturais, como o relevo, proximidade de rios para o abastecimento de água, também foram pontuados, porém com menor importância. Por fim, pôde-se perceber que o custo de oportunidade é o que mais influência nos preços da terra nessa região de fronteira, em que a oferta pode ser considerada como elástica, devido a possibilidade da conversão de áreas florestais para áreas desmatadas, e sua rápida disponibilização para o mercado de terras.

4.2 Resultado dos mapeamentos: estradas e degradação florestal

O mapa de estradas mapeadas em 2014 está apresentado na Figura 4.1. Foi identificado um aumento de mais de 339,4 km de estradas para o ano de 2014. O mapa já contava com 8.779,4 km de estradas, o que representa um aumento de 4% em 2 anos. Observando o mapa, nota-se que a expansão das estradas aconteceu a partir das estradas vicinais já existentes e não diretamente da rodovia BR 163.

Figura 4.1: Mapa das estradas atualizado para o ano de 2014.

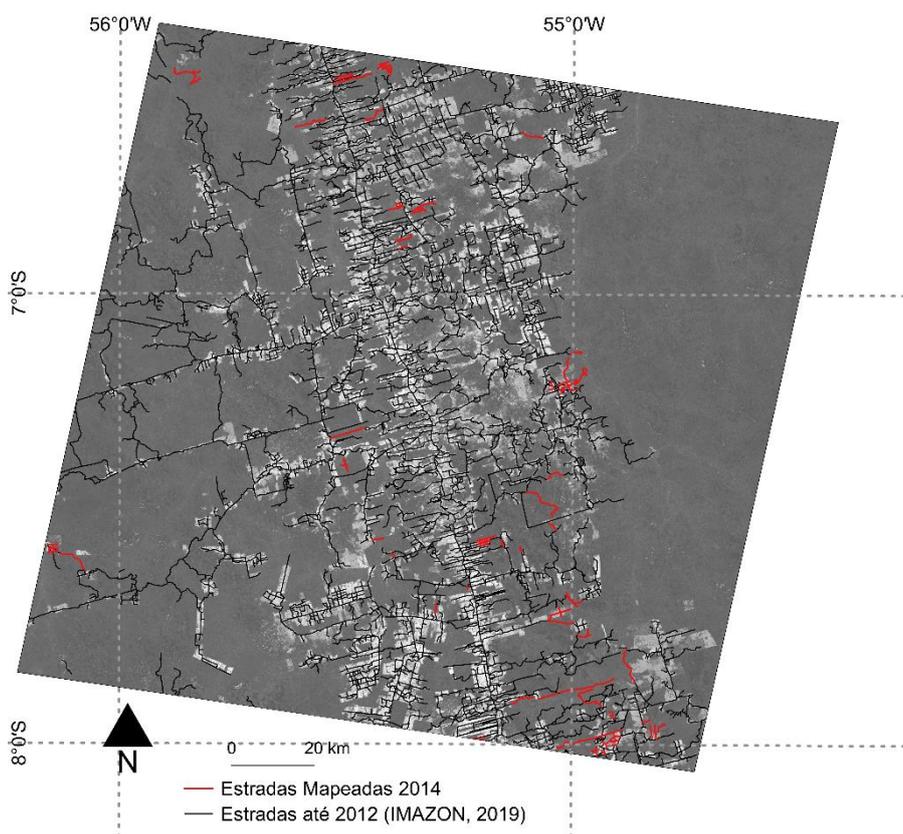


Imagem fração solo do modelo linear de mistura espectral do sensor Landsat – OLI, 2014

Fonte: Produção do Autor.

A Figura 4.2 mostra o mapa dos dados de degradação florestal com as complementações realizadas neste trabalho. A área de degradação acumulada para os anos de 2010 e 2011 foi de 29,29 km², enquanto que o mapeamento para os anos de 2012 e 2013 resultou em 38,12 km². O resultado da complementação dos dados de degradação registrou uma área 30% maior do que os dois anos anteriores. Nos quatro anos, a área de degradação florestal somou 67,4 km².

Figura 4.2: Degradação florestal mapeada para os anos de 2012 e 2013.

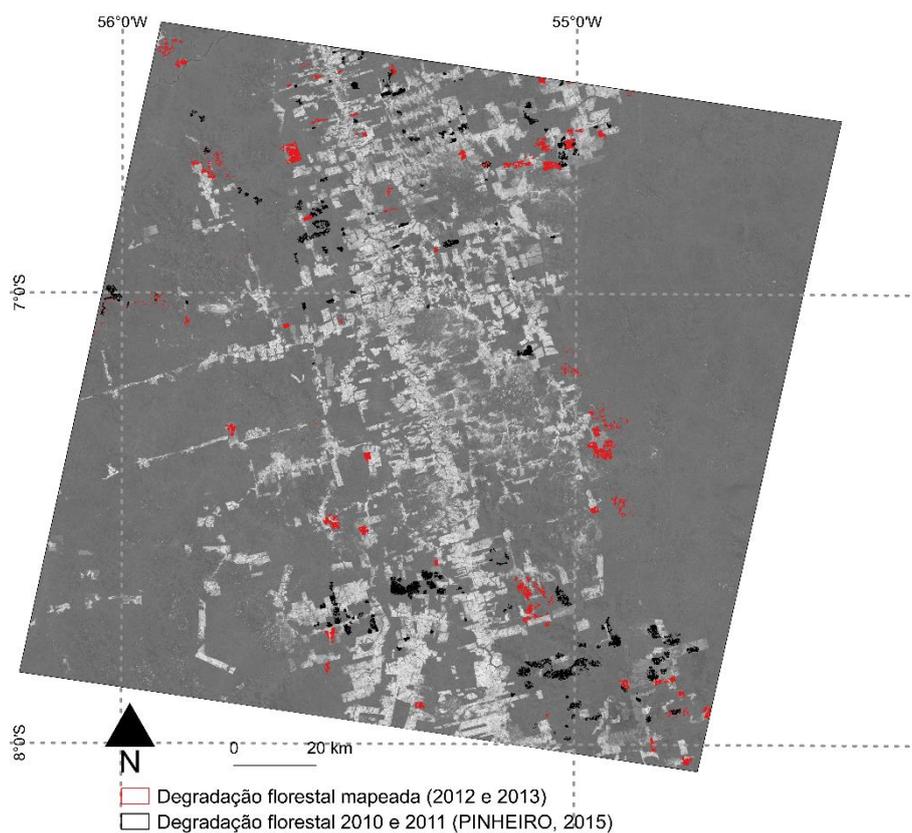


Imagem fração solo do modelo linear de mistura espectral do sensor Landsat – OLI, 2013

Fonte: Produção do Autor.

A degradação florestal na área de estudo está associada com a exploração de madeira, uma vez que não foi identificada área queimada nos dados mapeados (PINHEIRO, 2015). Em detalhe, apresentado na Figura 4.3, pode-se perceber que o mapeamento detectou aberturas na cobertura florestal, que provavelmente correspondem a clareiras resultantes da abertura de pátios e estradas na exploração madeireira. A exploração de madeira é feita de maneira convencional, sem planejamento e manejo da colheita, ou pela extração seletiva por meio de um Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS).

Figura 4.3: Detalhe de degradação mapeada.

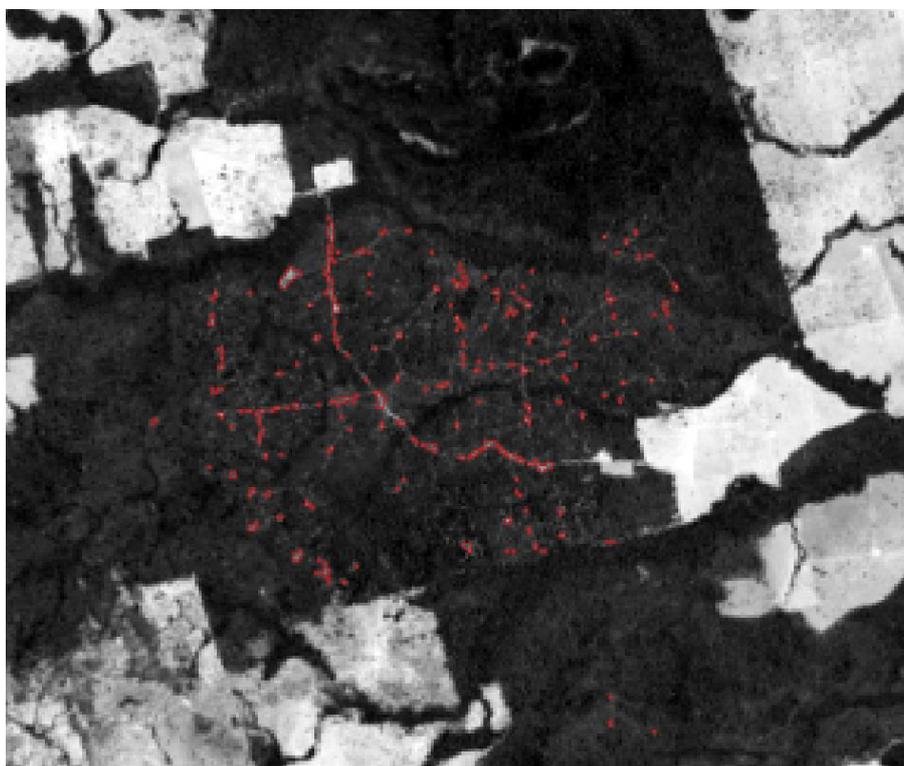


Imagem fração solo do modelo linear de mistura espectral do sensor Landsat – OLI, 2013

Dados de degradação mapeados 2013 pelo autor.

Fonte: Produção do Autor.

Em campo, notou-se que nos locais onde havia degradação florestal era comum encontrar a exploração de madeira convencional. Essa distinção foi possível devido à ausência de plaquetas de identificação das árvores colhidas, como pode ser visto nas fotos na Figura 4.4. Outras características que chamaram atenção para a exploração convencional foi a falta de planejamento na abertura de estradas e pátios, assim como a limpeza das árvores para derrubá-las, tirando cipós para diminuir o impacto da queda.

Figura 4.4: Fotos de exploração de madeira obtidas em campo.

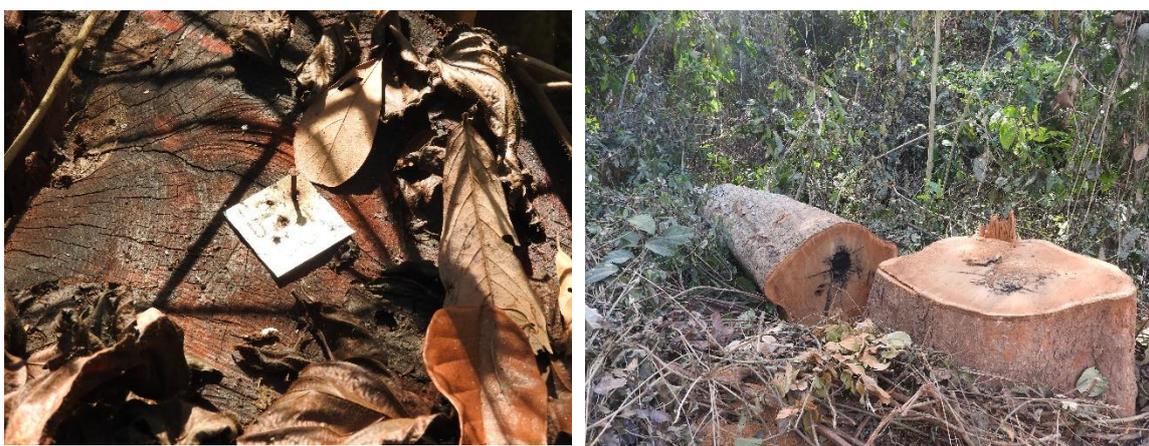


Foto em detalhe de plaqueta de identificação no toco da árvore colhida na exploração de madeira com PMFS (esquerda). Árvore derrubada sem plaqueta de identificação (direita).

Fonte: Produção do Autor.

Na Figura 4.4, na foto à direita, pode-se notar que o tronco no chão ainda está com cipós o que afetou toda a vegetação ao redor. Outro elemento importante é a ausência de indícios no direcionamento do corte da árvore que é evidenciado pelo corte totalmente horizontal. No corte direcionado, é necessário manter um entalhe direcional no tronco em um ângulo de 45° na direção que se pretende derrubar a árvore (PESCADOR et al., 2013). Essas práticas não acontecem normalmente em uma área de extração seletiva de madeira com PMFS (BRASIL, 2009).

4.3 Representação do índice de valor da terra (IVT)

Para a representação do valor da terra, foi criado o índice de valorização da terra (IVT), gerado a partir de uma matriz de comparação pareada de valores relacionados com variáveis consideradas como as que mais contribuem para o valor da terra. A Tabela 4.1 mostra as variáveis utilizadas em ordem hierárquica para calcular o índice de valor da terra em cada célula e detalha as premissas, a relação na AHP, se foi necessário fazer a inversão ou não e as referências que embasaram a escolha das variáveis. A variável que apresenta maior importância para o cálculo do índice de valor da terra está no topo da tabela, enquanto a última é a que apresenta menor importância.

Tabela 4.1: Detalhamento de cada variável utilizada para calcular o índice de valor da terra nas células.

Variável	Premissa	Relação na AHP	Inversão	Referência
AB-p (índice de proporção de Área Aberta)	Quanto mais área aberta, mais valorizada será a terra	Quanto maior a proporção, mais valorizada	Não	(COSTA, 2012, 2016) e entrevista de campo
VS-p (índice de proporção de Vegetação Secundária)	Quanto menos vegetação secundária, mais valorizada será a terra	Quanto menor a proporção, mais valorizada	Sim	
BR-d (índice de distância da BR-163)	Quanto mais próximo, mais valorizada será a terra	Quanto menor a distância, mais valorizada	Sim	(PLATA, 2006; OLIVEIRA; FERREIRA, 2015) e entrevista de campo
AU-d (índice de distância de área urbana)	Quanto mais próximo, mais valorizada será a terra	Quanto menor a distância, mais valorizada	Sim	
EST-d (índice de distância de estradas vicinais)	Quanto mais próximo, mais valorizada será a terra	Quanto menor a distância, mais valorizada	Sim	

(Continua)

Tabela 4.1: Conclusão.

Variável	Premissa	Relação na AHP	Inversão	Referência
IR-m (índice de tamanho médio dos imóveis)	Quanto menor, mais valorizada será a terra	Quanto menor a área média, mais valorizada	Sim	(REYDON et al., 2004)
CRT-p (índice de proporção de Imóveis certificados)	Quanto maior, mais valorizada será a terra	Quanto maior a proporção, mais valorizada	Não	Entrevista de campo
DCV (índice de mediana da declividade)	Quanto mais plano, mais valorizada será a terra	Quanto menor a mediana da declividade, mais valorizada	Sim	(PLATA, 2006; OLIVEIRA; FERREIRA, 2015) e entrevista de campo
RIO-d (índice de distância de rios)	Quanto mais próximo, mais valorizada será a terra	Quanto menor a distância, mais valorizada	Sim	
AST-p (índice de proporção de assentamentos)	A terra é menos valorizada	Quanto menor a proporção, mais valorizada	Sim	(REYDON; PLATA, 2006; FAO/SEAD, 2017) e entrevista de campo
EMB-p (índice de proporção de embargos)	A terra menos valorizada	Quanto menor a proporção, mais valorizada	Sim	
FLR-p (índice de proporção de cobertura florestal)	A terra é menos valorizada	Quanto menor a proporção, mais valorizada	Sim	(COSTA, 2012, 2016) e entrevista de campo
UC-p (índice de proporção de unidade de conservação)	A terra é menos valorizada	Quanto menor a proporção, mais valorizada	Sim	(BRASIL, 2006b; FAO/SEAD, 2017) e entrevista de campo
TI-p (índice de proporção de terras indígenas)	A terra é menos valorizada	Quanto menor a proporção, mais valorizada	Sim	

Fonte: Produção do Autor.

A Tabela 4.2 mostra a comparação pareada da importância das variáveis para responder à questão onde a terra é potencialmente mais valorizada. Nesta tabela, está indicado o quanto a variável na linha é mais importante do que a variável na coluna, de acordo com a ordem de importância descrita na Tabela 3.4. da Seção 3.3.4 dos métodos. A relação contrária não está na tabela, mas é dada por 1 sobre o peso atribuído. A razão de consistência (RC) menor do que 0,1 assegura a consistência da comparação.

Tabela 4.2: Matriz de comparação pareada dos fatores relacionados com a valorização da terra.

Fatores	AB-p	VS-p _{inv}	BR-d _{inv}	AU-d _{inv}	EST-d _{inv}	IR-m _{inv}	CRT-p	DCV _{inv}	RIO-d _{inv}	AST-p _{inv}	EMB-p _{inv}	FLR-p _{inv}	UC-p _{inv}	TI-p _{inv}
AB-p	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8	9	9
VS-p _{inv}		1	1	2	3	3	4	5	5	6	7	8	9	9
BR-d _{inv}			1	1	2	4	5	6	6	6	7	8	9	9
AU-d _{inv}				1	1	1	2	4	4	5	6	8	9	9
EST-d _{inv}					1	1	2	4	4	4	6	7	8	8
IR-m _{inv}						1	1	3	3	4	5	7	8	8
CRT-p							1	3	3	4	5	7	8	8
DCV _{inv}								1	1	3	4	7	8	8
RIO-d _{inv}									1	3	4	6	7	8
AST-p _{inv}										1	2	4	7	8
EMB-p _{inv}											1	4	5	7
FLR-p _{inv}												1	3	4
UC-p _{inv}													1	3
TI-p _{inv}														1

Razão de consistência (RC) = 0,094

Fonte: Produção do Autor.

AB-p: índice de proporção de área aberta; **VS-p_{inv}**: índice invertido de proporção de vegetação secundária; **BR-d_{inv}**: índice invertido de distância da BR-163; **AU-d_{inv}**: índice invertido de distância de área urbana; **EST-d_{inv}**: índice invertido de distância de estradas vicinais; **IR-m_{inv}**: índice invertido de tamanho médio dos imóveis; **CRT-p**: índice de proporção de imóveis certificados; **DCV_{inv}**: índice invertido de declividade; **RIO-d_{inv}**: índice invertido de distância de rios; **AST-p_{inv}**: índice invertido de proporção de assentamento; **EMB-p_{inv}**: índice invertido de proporção de embargo; **FLR-p_{inv}**: índice invertido de proporção de cobertura florestal até 2013. **UC-p_{inv}**: índice invertido de proporção de unidade de conservação; **TI-p_{inv}**: índice invertido de proporção de terra indígena.

A partir da comparação pareada, chegou-se aos pesos conforme mostra a Tabela 4.3. Estes pesos indicam o quanto cada fator contribui para a valorização da terra. Nota-se que cerca de 50% do IVT é determinado pelos três primeiros fatores: AB-p, VS-p_{inv} e BR-d_{inv}. A área aberta (AB-p) corresponde às terras com mais valor agregado evidenciadas pela pesquisa de preço da FGV (FGV/IBRE, 2014), enquanto que as áreas com vegetação secundária (VS-p_{inv}) são áreas tidas como reserva de terras (COSTA, 2012) e podem ter uma relação inversa com o valor da terra em região de fronteira, uma vez que representam o potencial aumento da oferta de terra (FERRO; CASTRO, 2013). O peso encontrado para a BR-d_{inv} está muito próximo daquele encontrado por Ferro e et al. (2013) para investimento no setor de transporte para região de fronteira. A proximidade à BR-163 é muito importante na região, como visto em campo, e representa a facilidade de escoamento da produção e acesso a infraestrutura, juntamente com a AU-d_{inv} e EST-d_{inv}.

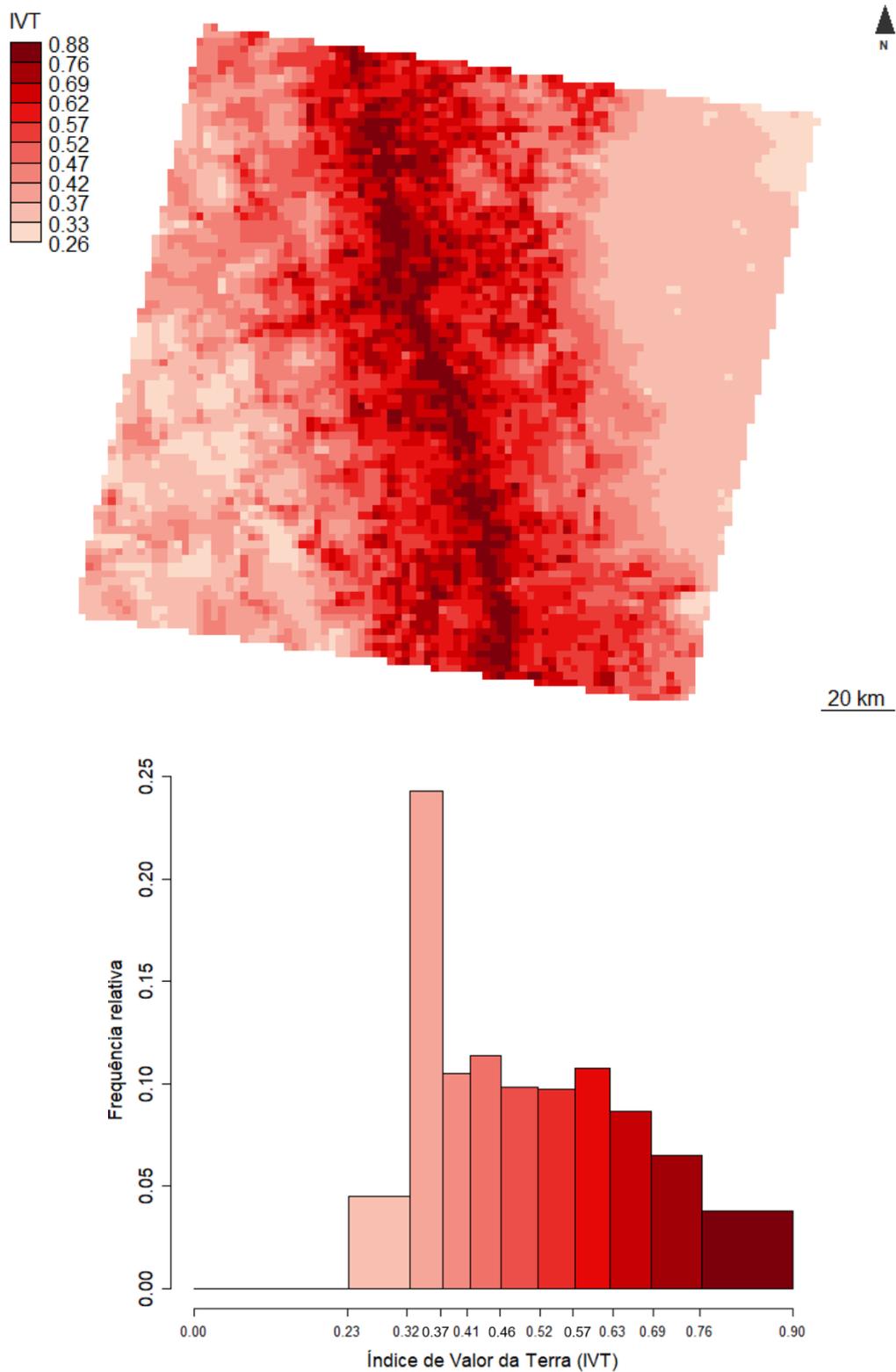
Tabela 4.3: Pesos derivados do AHP.

Fator	Pesos derivados	% acumulada
AB-p	0,2019	20%
VS-p _{inv}	0,1464	35%
BR-d _{inv}	0,1464	49%
AU-d _{inv}	0,0984	59%
EST-d _{inv}	0,0859	68%
IR-m _{inv}	0,0745	75%
CRT-p	0,0662	82%
DCV _{inv}	0,0454	87%
RIO-d _{inv}	0,0436	91%
AST-p _{inv}	0,0313	94%
EMB-p _{inv}	0,0250	97%
FLR-p _{inv}	0,0151	98%
UC-p _{inv}	0,0110	99%
TI-p _{inv}	0,0089	100%

Fonte: Produção do Autor.

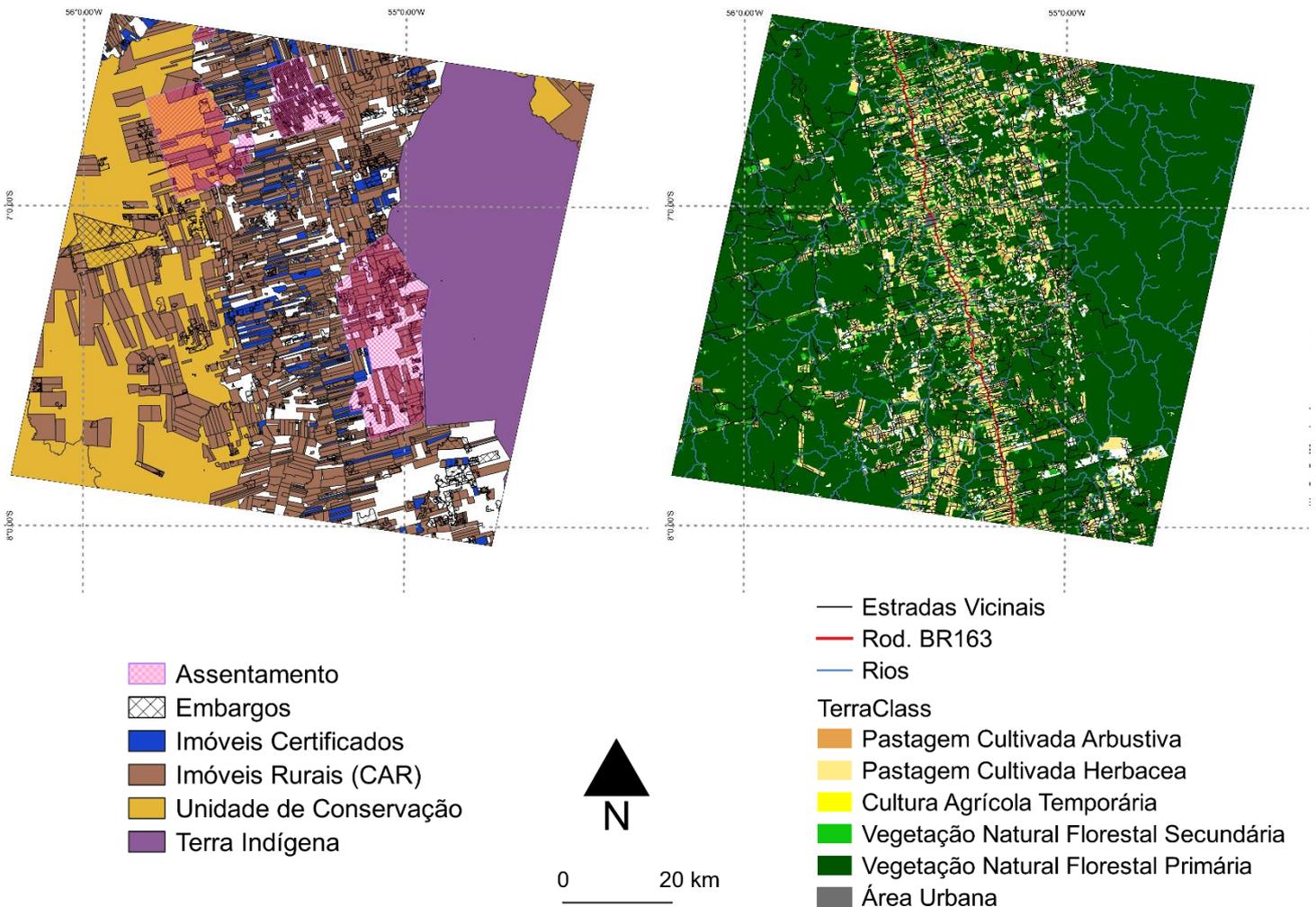
O mapa de IVT apresentado na Figura 4.5 foi construído pela soma dos fatores ponderada pelos pesos obtidos, na mesma figura é apresentado o histograma do mapa resultante. A Figura 4.6 mostra o mapa com a maior parte dos dados usados para gerar os fatores no cálculo do IVT. Pode-se perceber que o mapa resultante representa detalhadamente o valor da terra na área de estudo. O histograma aponta que cerca de 25% das células estão entre 0,33 e 0,37 de valor de IVT, o que corresponde no mapa principalmente a região da terra indígena. Observando o mapa, é possível notar que os valores mais altos estão no entorno da BR-163 que é onde estão as áreas urbanas e as áreas abertas, destacando onde a ocupação é mais consolidada. A classe de valores mais elevados também segue parte do delineamento das estradas, outro fator importante na determinação do IVT. Nota-se também que em contraste com a região da terra indígena onde os valores não tem muitas variações, na unidade de conservação Floresta Nacional do Jamanxim os valores são mais variados uma vez que há mais estradas vicinais, áreas abertas e imóveis rurais. Isso era o esperado de acordo com relatos de campo, em que a terra na unidade de conservação é negociada no mercado de terras, embora seja desvalorizada devido ao regime de governança. Esta região da unidade de conservação pode representar um importante foco de especulação, em que os valores ainda estão baixos e podem subir conforme a pressão aumentar por demanda por terra na região.

Figura 4.5: Mapa e histograma de Índice de Valorização da Terra (IVT).



Fonte: Produção do Autor.

Figura 4.6: Dados utilizados para gerar variáveis que compõe o IVT.

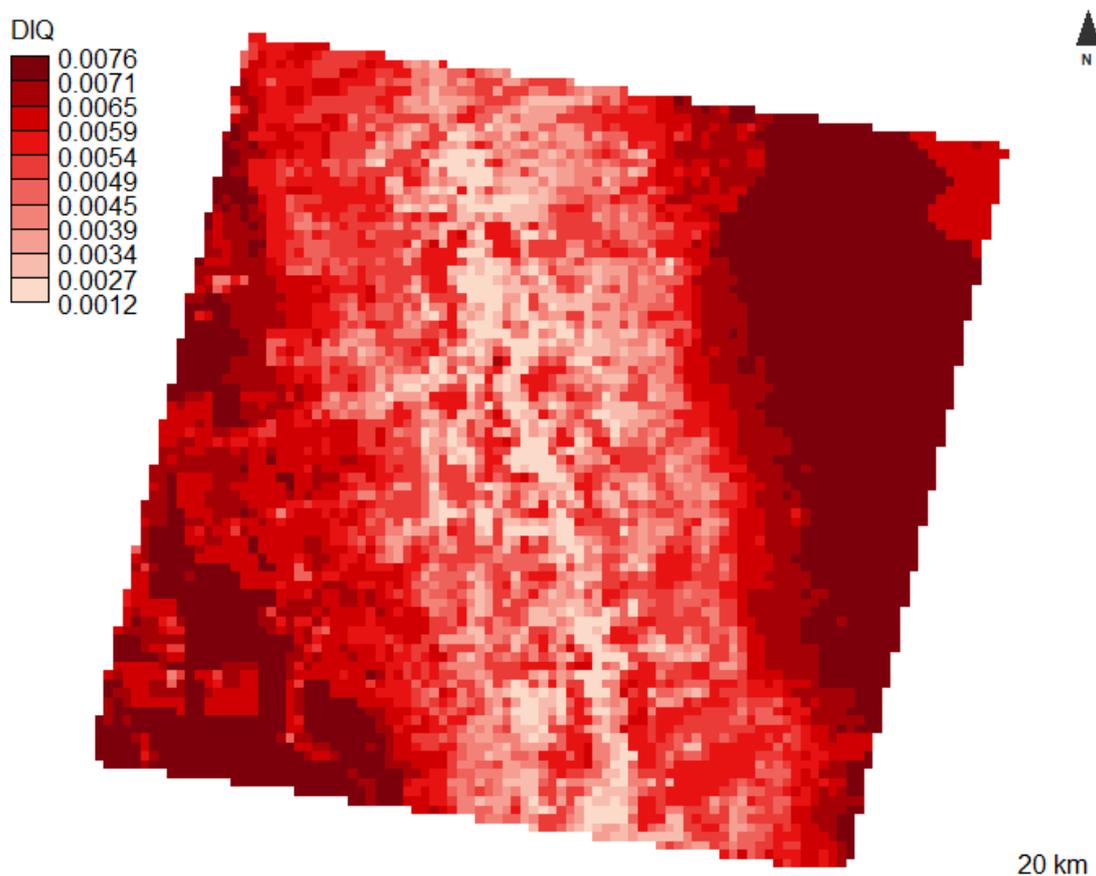


Fonte: Produção do Autor.

A Figura 4.7 mostra o mapa da distância interquartil (DIQ) dos IVTs resultantes das simulações na variação dos pesos na comparação pareada dos fatores utilizados. Entre as 1000 simulações, foram consideradas 875 após a remoção daquelas que apresentaram $RC \geq 0,1$. O valor de DIQ foi usado para analisar a sensibilidade do IVT ao variar os pesos da comparação pareada entre fatores. As cores mais claras no mapa indicam as regiões menos sensíveis e as cores mais escuras, indicam o contrário. No entanto, o maior valor de DIQ causado

pelas perturbações foi de 0,0076, o que representa baixo impacto no valor do IVT. Portanto, pode-se concluir que os valores de IVT dificilmente seriam diferentes dos obtidos, alterando-se apenas os valores de importância na comparação pareada.

Figura 4.7: Distância Interquartil (DIQ) das simulações de IVT.

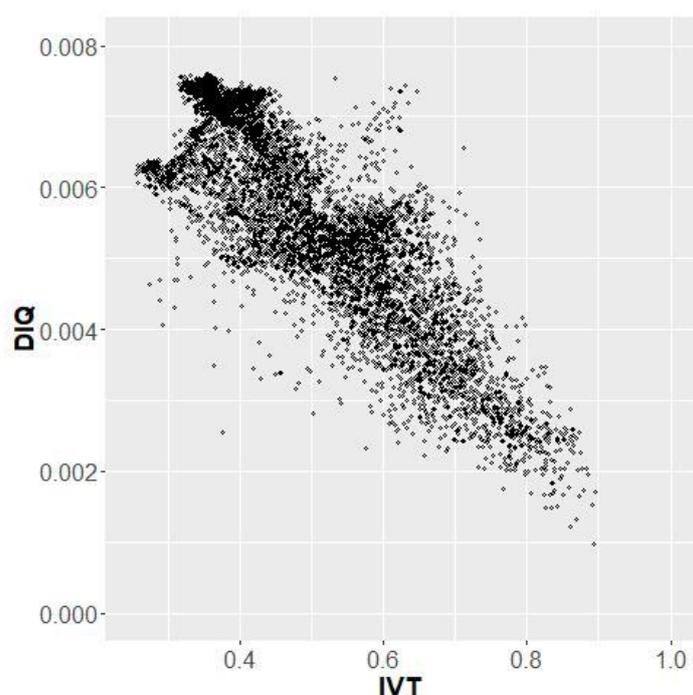


Fonte: Produção do Autor.

As regiões mais sensíveis do IVT se concentram em áreas em que há menor sobreposição de informações, que corresponde a área da terra indígena e parcelas da unidade de conservação. Pode-se observar pela Figura 4.8 que existe uma relação entre o valor de IVT e sua sensibilidade (indicada pelo DIQ): quanto maior o valor do IVT, mais estável é o índice. Os maiores valores do

IVT estão associados a regiões de ocupação mais consolidadas onde dificilmente alguma variável usada para compor o IVT assume o valor zero. Por outro lado, onde o valor de IVT é composto por poucas variáveis, pois o restante das variáveis é igual a zero, como é o caso da região da terra indígena, o IVT se demonstrou mais sensível.

Figura 4.8: Gráfico de dispersão entre DIQ e IVT.



Fonte: Produção do Autor.

Por outro lado, ao analisar o DIQ dos pesos obtidos para cada fator na Tabela 4.4 notou-se que, em geral, ele decai com a ordem hierárquica dos fatores. Isso era esperado, levando em consideração que os maiores pesos gerados devem pertencer aos fatores mais importantes e, portanto, a grandeza de DIQ deve ser maior. Entretanto, isso não se refletiu no mapa de DIQ do IVT. As regiões das variáveis em que as simulações da comparação pareada resultaram em maior variação no peso derivado, não correspondem às regiões do mapa em as simulações apresentaram maior variação do IVT.

Tabela 4.4: Diferença Interquartil das simulações dos pesos das variáveis que compõe o IVT.

DIQ	Variável
0,0063	AB-p
0,0061	VS-p _{inv}
0,0070	BR-d _{inv}
0,0058	AU-d _{inv}
0,0039	EST-d _{inv}
0,0044	IR-m _{inv}
0,0026	CRT-p
0,0014	DCV _{inv}
0,0014	RIO-d _{inv}
0,0009	AST-p _{inv}
0,0006	EMB-p _{inv}
0,0004	FLR-p _{inv}
0,0004	UC-p _{inv}
0,0002	TI-p _{inv}

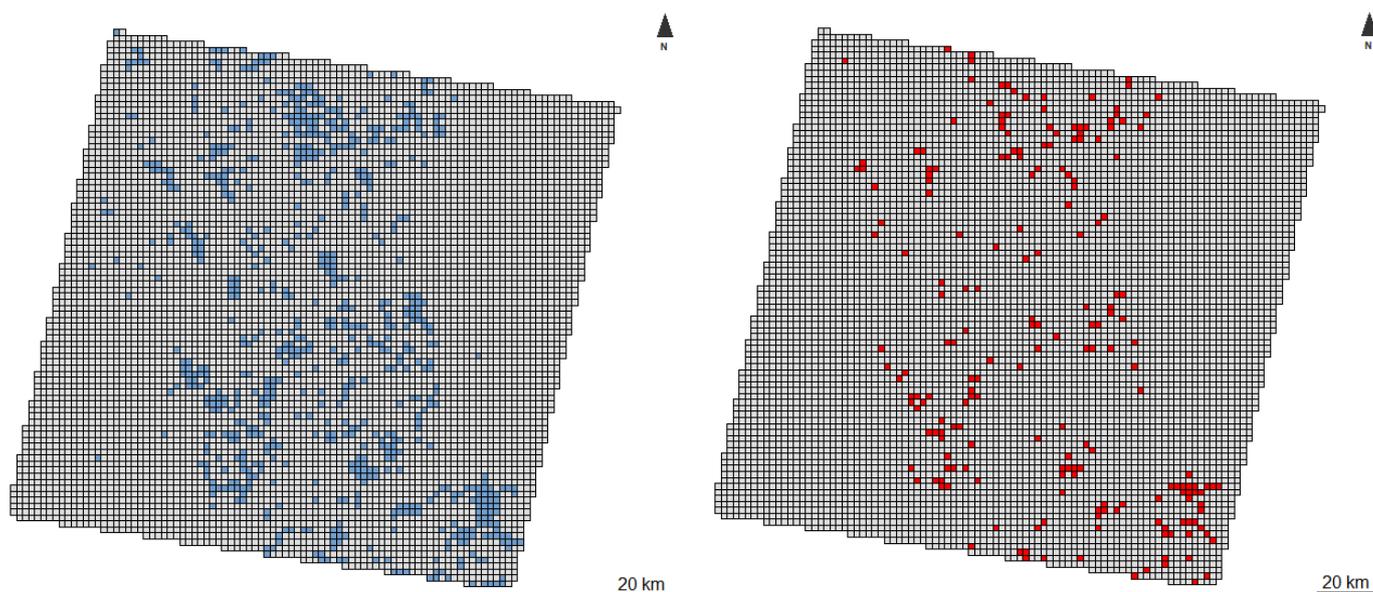
Fonte: Produção do Autor.

Por fim, a variável IVT gerada, de acordo com as análises apresentadas, representa um indicador promissor para o valor da terra. Este índice leva em consideração o contexto das células perante diversos fatores que influenciam no valor dos imóveis rurais no mercado. Quanto maior o IVT mais consolidada e estruturada se encontra a ocupação do território, representando regiões em que a oferta por terra já atingiu o limite, tendendo a expandir para outras regiões. Dessa forma, essa variável expressa as variações locais do valor potencial da terra, embora não se conheça concretamente os valores de mercado.

4.4 Modelo de regressão

As células do espaço amostral e as amostradas podem ser visualizadas nos mapas na Figura 4.9. O mapa mostra que as células utilizadas na construção do modelo foram distribuídas de forma a não privilegiar nenhuma região da área de estudo.

Figura 4.9: Mapa do espaço amostral e amostras utilizadas.



Espaço amostral (azul) e amostras utilizadas (vermelho).

Fonte: Produção do Autor.

O resultado da etapa de seleção das variáveis independentes é apresentado na Tabela 4.5. Este é o resultado da busca por *stepwise backward* e *forward* para redução do número de variáveis explicativas chega-se a um modelo preliminar. Nesta etapa, também se manteve somente as variáveis cujo beta estimado apresentou significância a 5% e valor de VIF menor do que 10, indicativo de não colinearidade (NETER et al., 1996).

Tabela 4.5: Modelo preliminar.

Variáveis	Beta	Valor p	VIF
Intercepto	1,8008	0,0453	
D13-p	-0,0258	0,0002	3,95
MPAR	5,0785	0,0306	1,10
AB-p	2,3144	0,0148	5,96
AU-d _{inv}	1,9180	0,0082	4,67
AST-d	0,7177	0,0018	1,40
DEG-d	-0,8134	0,0031	1,12
INC-d	2,0442	0,0005	1,25
IVT	-7,7379	0,0008	6,63
R ² = 0.3713		R ² ajustado = 0,3451	

Fonte: Produção do Autor.

Ao observar o modelo preliminar, notou-se que a variável MPAR, oriunda das métricas de paisagem da área desmatada até 2013, foi importante para construir o modelo. Outro ponto a se ressaltar é a presença altamente significativa da variável IVT com valor de beta negativo, o que indica uma relação inversa com a variável dependente do modelo. No entanto, este modelo preliminar apresentou baixo R², o que revelou limitação no poder explicativo para o fenômeno em estudo. Com a inclusão das interações, o poder explicativo do modelo aumentou (Tabela 4.6).

Tabela 4.6: Modelo final com interações das variáveis.

Variáveis	Beta	Valor p
Intercepto	-5,0090	0,0395
AWMPFD	4,0090	0,0309
MPAR	-43,1100	0,0138
SIDI	2,2590	0,0036
EMB-p _{inv}	-2,1850	0,0032
INC-d	-38,3500	0,0023
D13-d	6,1630	0,0000
IVT	-4,4230	0,0002
EMB-p _{inv} x INC-d	12,7500	0,0002
BIA x TI-d	0,0055	0,0011
D13-d x CRT-d	-2,8980	0,0006
D13-d x RIO-d _{inv}	-5,5380	0,0000
D13-d x TAOBIA	-1,07E-05	0,0017
MPAR x DCV _{inv}	-70,7800	0,0074
INC-d x VS-p _{inv}	-30,0800	0,0111
R ² = 0,5024	R ² ajustado = 0,4649	

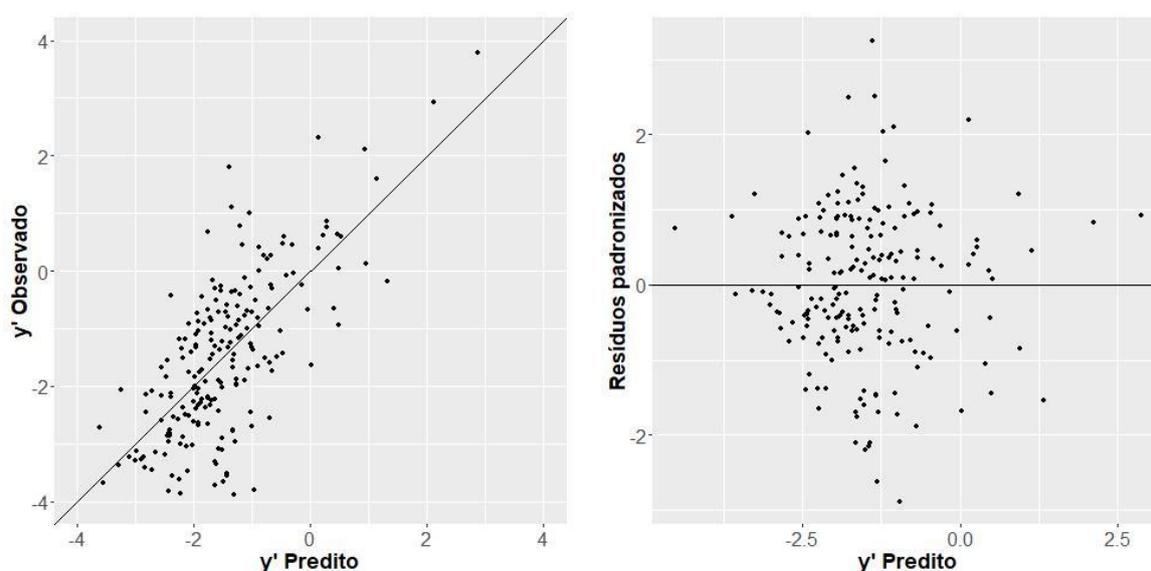
Fonte: Produção do Autor.

Na concepção do modelo final, manteve-se somente as variáveis significativas a 5%. Nesta etapa, pode-se chegar a um modelo capaz de explicar 50% da variação da proporção de desmatamento na célula ($R^2 = 0,5024$). A representação no espaço celular de cada variável que compõe o modelo final está no APÊNDICE B.

Nesta etapa, permaneceram apenas 7 variáveis simples, das quais MPAR, INC-d e IVT são as únicas comuns aos modelos preliminar e final. Dentre as interações, apenas a interação BIA x TI-d aparece com variáveis inéditas no modelo. As outras interações apresentam pelo menos uma variável que também está representada de forma simples. Nestes casos, o modelo pode ser rearranjado de modo a deixar em evidência apenas uma variável, que teria seu beta em função de outra variável. Essas modificações estão apresentadas na Seção 4.4.1 deste Capítulo, ocasião em que os valores dos betas estimados das variáveis serão discutidos.

Posteriormente, as análises dos resíduos e dos resultados do modelo foram realizadas com o auxílio dos gráficos na Figura 4.10. Na relação entre o y' predito e observado, pode-se notar que o modelo não alcançou a estimativa para o valor máximo de y' , porém, em relação ao valor mínimo, o modelo errou pouco. Outro destaque importante são os resíduos não apresentarem tendência aparente, como corrobora o gráfico da dispersão dos resíduos padronizados pelo y' predito.

Figura 4.10: Gráficos da dispersão entre y' observado e y' predito, resíduos padronizados.



Fonte: Produção do Autor.

Os resultados para os testes de normalidade, homocedasticidade e dependência espacial dos resíduos estão apresentados na Tabela 4.7. Estes testes asseguraram as premissas de distribuição normal, variância constante (homocedasticidade) e não dependência espacial, características que se não fossem atendidas, comprometeria os valores de significância dos betas estimados.

Tabela 4.7: Resultado das análises de normalidade, homocedasticidade e dependência espacial dos resíduos.

	Estatística	Valor p
Normalidade (Shapiro-Wilk)	0,99077	0,2275
Homocedasticidade (Breusch-Pagan)	19,942	0,1320
Dependência Espacial (Teste de Moran)	0,1300	0,0798

Fonte: Produção do Autor.

4.4.1 Análise do modelo para o desmatamento

O modelo final, cujos valores estimados de beta são apresentados na Tabela 3.10, pode ser representado como:

$$\begin{aligned}
 \text{logit}(y) = & b_0 + b_1 \times \text{AWMPFD} + b_2 \times \text{MPAR} + b_3 \times \text{SIDI} \\
 & + b_4 \times \text{EMB-p}_{inv} + b_5 \times \text{INC-d} + b_6 \times \text{D13-d} + b_7 \times \text{IVT} \\
 & + b_8 \times \text{EMB-p} \times \text{INC-d} + b_9 \times \text{BIA} \times \text{TI-d} \\
 & + b_{10} \times \text{D13-d} \times \text{CRT-d} + b_{11} \times \text{D13-d} \times \text{RIO-d} \\
 & + b_{12} \times \text{D13-d} \times \text{TAOBIA} + b_{13} \times \text{MPAR} \times \text{DCV}_{inv} \\
 & + b_{14} \times \text{INC-d} \times \text{VS-p}_{inv}
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

rearranjado para

$$\begin{aligned}
 \text{logit}(y) = & b_0 + b_1 \times \text{AWMPFD} + b_3 \times \text{SIDI} + b_4 \times \text{EMB-p}_{inv} \\
 & + \text{INC-d} \times (b_5 + b_8 \times \text{EMB-p} + b_{14} \times \text{VS-p}_{inv}) \\
 & + b_7 \times \text{IVT} + b_9 \times \text{BIA} \times \text{TI-d} + \text{D13-d} \times (b_6 \\
 & + b_{10} \times \text{CRT-d} + b_{11} \times \text{RIO-d} + b_{12} \times \text{TAOBIA}) \\
 & + \text{MPAR} \times (b_2 + b_{13} \times \text{DCV}_{inv})
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

Substituindo os betas pelos valores estimados chega-se:

$$\begin{aligned}
\text{logit}(y) = & -5,009 + 4,009 \times \text{AWMPFD} + 2,259 \times \text{SIDI} - 4,423 \times \text{IVT} \\
& - 2,185 \times \text{EMB-}p_{inv} \\
& + \text{INC-}d \\
& \times (-38,35 + 12,75 \times \text{EMB-}p_{inv} + 30,08 \times \text{VS-}p_{inv}) \\
& + 0,005482 \times \text{BIA} \times \text{TI-}d \\
& + \text{D13-}d \\
& \times (6,163 - 2,898 \times \text{CRT-}d - 5,538 \times \text{RIO-}d_{inv} \\
& - 0,00001069 \times \text{TAOBIA}) \\
& + \text{MPAR} \times (-43,11 + 70,78 \times \text{DCV}_{inv})
\end{aligned} \tag{4.3}$$

A discussão segue analisando cada termo do modelo resultante.

$$\dots + 4,009 \times \text{AWMPFD} \dots$$

AWMPFD é uma métrica que independe da escala de análise e está relacionada com a complexidade da forma do desmatamento até 2013 na célula (SAITO et al., 2011; MCGARIGAL, 2015). De acordo com este resultado, quanto mais complexa for a forma maior será o valor de *AWMPFD* e consequentemente, maior será o desmatamento na célula (MCGARIGAL, 2015). Esta métrica foi utilizada para diferenciar padrões de desmatamento no trabalho realizado por Gavlak (2011). Dessa forma, o comportamento desta variável no modelo incorpora uma medida para distinguir os padrões de ocupação mais associados com o desmatamento. Saito (2011) empregou esta variável para separar os padrões de desmatamento de difuso e regular de outros mais complexos. Isso indica que as células em que os padrões de ocupação são mais irregulares, o desmatamento é maior, o que pode ter relações com a expansão da ocupação na área de estudo.

$$\dots + 2,259 \times \text{SIDI} \dots$$

A variável *SIDI* pode ser entendida como o inverso do quadrado da proporção de desmatamento acumulado até 2013 dentro da célula. A relação positiva dessa variável com *logit(y)*, revela que quanto maior a área já desmatada, menor será o incremento. Este resultado é esperado, pois possivelmente funciona como um ajuste ao modelo incorporando o estoque de floresta dentro da célula onde pode acontecer novos desmatamentos.

$$\dots - 4,423 \times IVT \dots$$

A variável *IVT* tem relação inversa com a variável dependente. Isso indica que nas células que apresentam maior proporção de desmatamento são aquelas com menor valor de terra. Portanto, é possível argumentar que as áreas mais valorizadas já estão consolidadas e o desmatamento ocorre onde a terra ainda não apresenta valores muito altos, oferecendo preços mais acessíveis. Dessa forma, o desmatamento pode ter sido usado para transformar a mercadoria “terra com mata” para a mercadoria “terra com pastagem”, como define Costa (2012). Esse processo também é apontado por Fearnside (2017) como um importante fator associado ao desmatamento na Amazônia.

Outro ponto a ressaltar sobre a variável *IVT* é que foi capaz de substituir as variáveis relacionadas com acesso e proximidade a área urbana. Como estas outras variáveis não entraram no modelo, diferente do esperado, é possível dizer que elas estão representadas pelo *IVT*, uma vez que a sua elaboração incorporou as variáveis *BR-d_{inv}*, *AU-d_{inv}* e *EST-d_{inv}*.

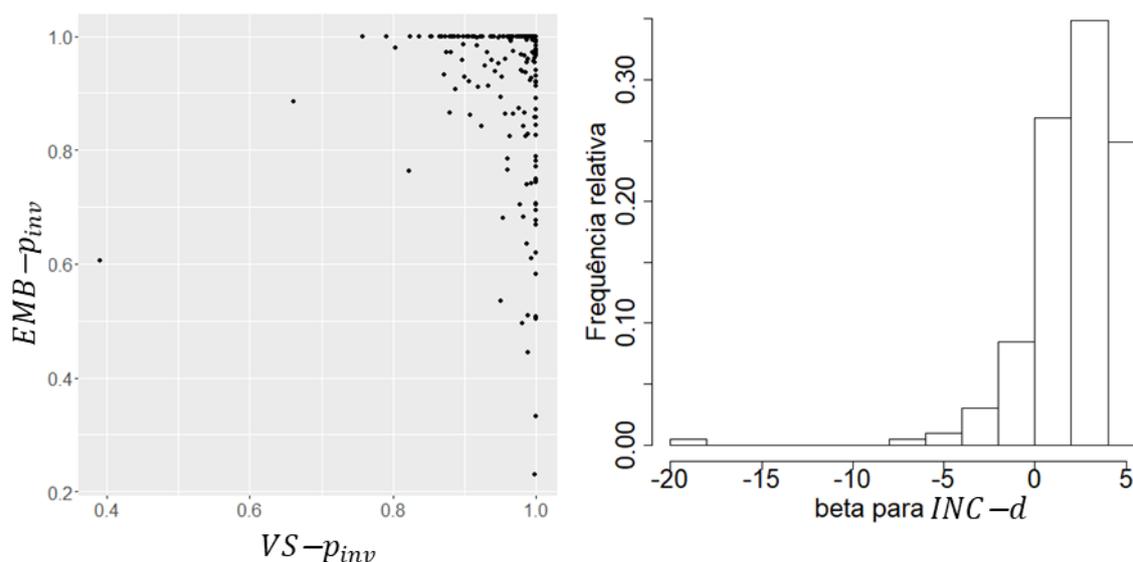
$$\dots - 2,185 \times EMB-p_{inv} \dots$$

O embargo (representado pelo índice invertido *EMB-p_{inv}*) tem relação direta com o desmatamento. A relação desta natureza pode levar ao entendimento de que onde houve embargo, posteriormente o desmatamento aumentou. Em campo, foi relatado que a reação aos embargos tem sido aumentar a área desmatada nas propriedades. Segundo os relatos, os responsáveis pelos imóveis autuados geralmente expandem a área aberta como forma de confronto a fiscalização. Além disso, organizações da sociedade civil realizaram um levantamento para estudar a proposta de 2016 para a desafetação de parte da Flona Jamanxim e identificaram que algumas áreas embargadas na Flona poderiam ficar de fora na alteração dos limites dessa UC (IMAZON et al., 2017). Esse episódio pode ter corroborado para a verificação de mais áreas embargadas expandindo o desmatamento sugerindo haver o intuito de aproveitar possíveis flexibilizações na governança de terra local.

$$\dots + INC-d \times (-38,35 + 12,75 \times EMB-p_{inv} + 30,08 \times VS-p_{inv}) \dots$$

A variável *INC-d* é o índice de distância de imóveis inconsistentes. Na Figura 4.11 é apresentado o gráfico de dispersão entre *EMB-p_{inv}* e *VS-p_{inv}* e o histograma para o cálculo de beta de *INC-d* que é igual a $-38,35 + 12,75 \times EMB-p_{inv} + 30,08 \times VS-p_{inv}$.

Figura 4.11: Gráficos de dispersão entre *EMB-p_{inv}* e *VS-p_{inv}* e histograma para o beta de *INC-d*.



Fonte: Produção do autor.

Na maior parte dos casos essa relação é positiva, conforme mostra o histograma na Figura 4.11. Porém quando há embargo na célula ou vegetação secundária, as variáveis *EMB-p_{inv}* e *VS-p_{inv}* se aproximam de zero e a relação de *INC-d* passa a ser negativa. Isso pode indicar que em muitas dessas inconsistências encontradas no CAR podem ser declarações meramente virtuais, cuja a intenção é conseguir respaldo no cadastro para uma terra com sobreposição a Flona Jamanxim, a assentamento rural ou mesmo com sobreposição entre diferentes imóveis. No entanto, naqueles imóveis com vegetação secundária ou embargo, o desmatamento tem mais chance de

ocorrer. Estes casos podem indicar imóveis onde a supressão da vegetação, seja ela primária ou secundária, é usada para caracterizar posse, por se tratar de um imóvel em que os limites estão em conflito com outros limites de governança de terra. Ademais, a vegetação secundária pode ser referente a áreas utilizadas como reserva de terras, conforme apontado por (COSTA, 2016).

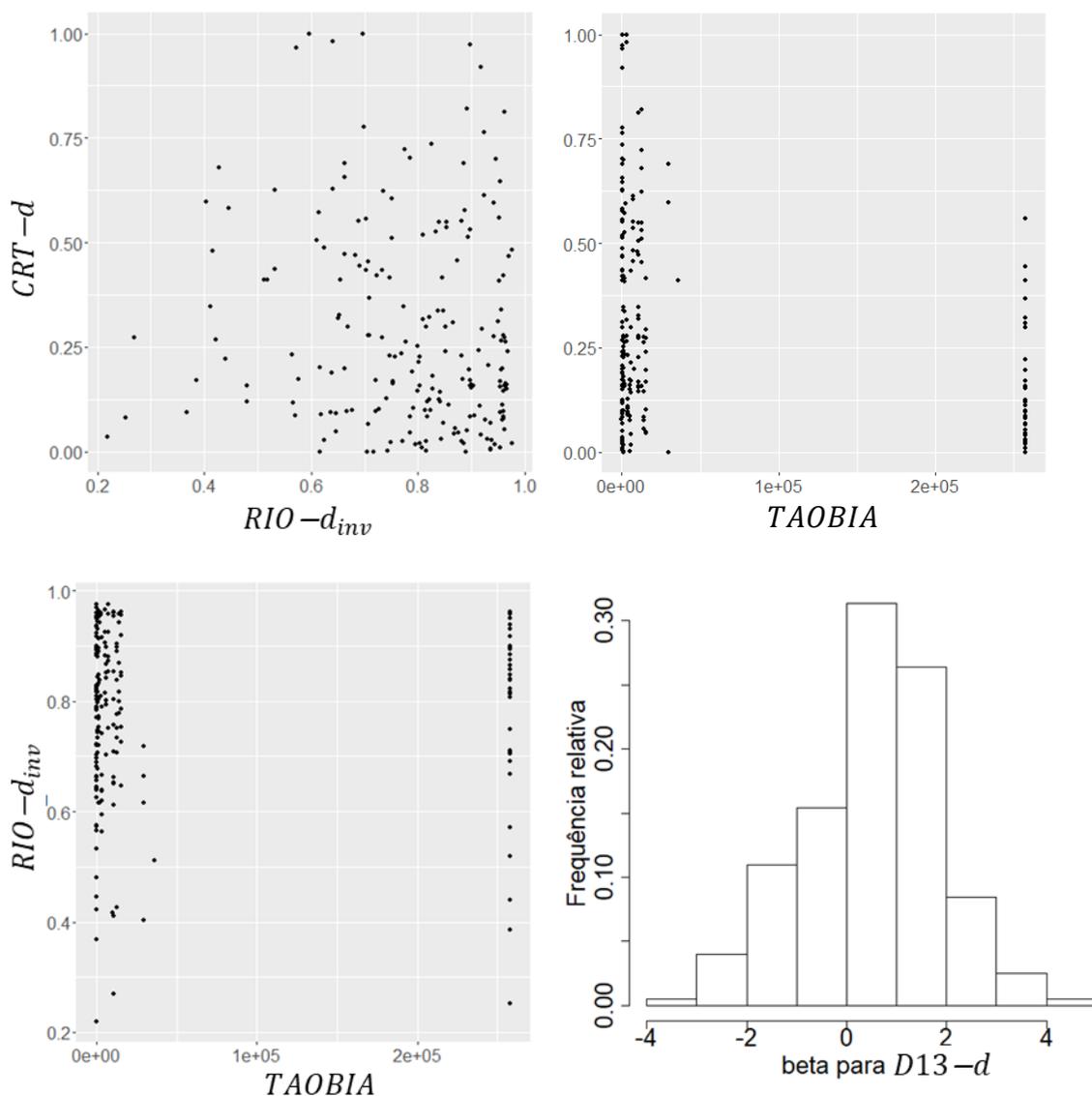
$$\dots + 0,005482 \times BIA \times TI-d \dots$$

A índice de distância de terra indígena (*TI-d*) tem valor 0 dentro dos limites e atinge 1 próximo à rodovia BR-163. A variável *BIA* é a maior área em hectares desmatada dentro da célula até 2013. Portanto, a relação dessas duas variáveis indica que o desmatamento será maior em células com grandes desmatamentos e quanto mais distante da TI estiver. Levando em consideração que dentro da TI o desmatamento é ainda menor, pois esta interação perde efeito com o valor de *TI-d* igual a 0.

$$\dots + D13-d \times (6,163 - 2,898 \times CRT-d - 5,538 \times RIO-d_{inv} - 0,00001069 \times TAOBIA) \dots$$

Para embasar melhor a discussão, a Figura 4.12 apresenta histograma para o beta de *D13-d*, determinado por $(6,163 - 2,898 \times CRT-d - 5,538 \times RIO-d_{inv} - 0,00001069 \times TAOBIA)$, bem como os gráficos das dispersões entre cada variável que determina este beta.

Figura 4.12: Gráficos de dispersão entre $CRT-d$ e $RIO-d_{inv}$, $CRT-d$ e $TAOBIA$, $RIO-d_{inv}$ e $TAOBIA$ e histograma para o beta de $D13-d$.



Fonte: Produção do Autor.

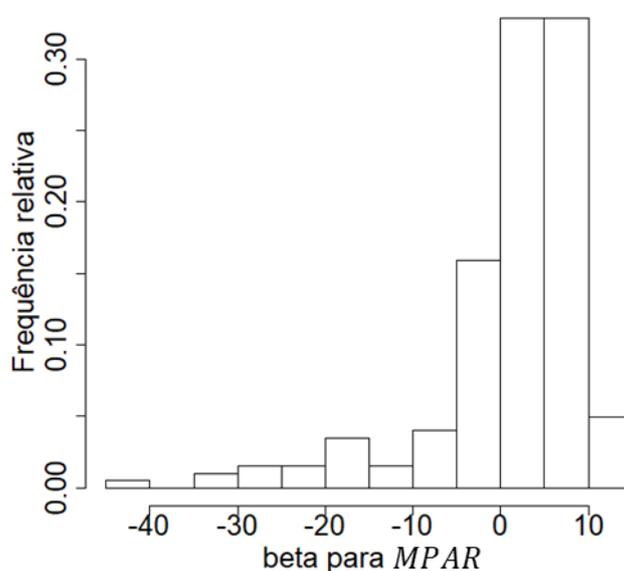
A distância de desmatamento acumulado até 2013, representada pela variável $D13-d$, tem relação positiva com o desmatamento. Observando o histograma, o mais comum é a relação positiva dessa variável com o $logit(y)$, portanto, o desmatamento tende a ser maior nas fronteiras locais da ocupação do território, porém isso é controlado em células próxima aos rios (onde valores

$RIO-d_{inv}$ tende a 1), células distantes de imóveis certificados (valores de $CRT-d$ tende a 1) e em células com intersecção de polígonos grandes de desmatamento até 2013 (valores maiores de $TAOBIA$). Os gráficos de dispersões indicam que provavelmente os valores negativos para o beta de $D13-d$ são nas células em que $RIO-d_{inv}$ e $TAOBIA$ atingem seus valores máximos, ou seja, nas áreas mais consolidadas e próximas de rios, e que portanto, o desmatamento é menor, pois o termo passa ter influência inversa no modelo.

$$\dots + MPAR \times (-43,11 + 70,78 \times DCV_{inv})$$

O histograma do beta para $MPAR$ é apresentado na Figura 4.13.

Figura 4.13: Gráfico do histograma para o beta de $MPAR$.



Fonte: Produção do Autor.

O histograma do beta no termo da variável $MPAR$ mostra que relação deste termo é, na maior parte dos casos, positiva. A métrica de forma $MPAR$ assume valores maiores conforme o desmatamento antigo na célula for de forma mais regular, ou seja, cuja área é bem maior que o perímetro. Isso mostra que nas

células onde o terreno é mais plano o desmatamento é maior em células onde os polígonos das áreas já desmatadas são mais regulares. No entanto, essa relação é controlada pela declividade na célula. Quando a declividade aumenta, ou seja, DCV_{inv} se aproxima de 0, essa relação perde força e acaba virando negativa quando DCV_{inv} supera o valor de 0,61, ou seja 8,5% de declividade. Nestas situações o desmatamento é menor devido a condições do terreno.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho se propôs a investigar o processo de desmatamento em região de fronteira agropecuária na Amazônia com olhar lançado a partir de questões relacionadas com a terra. O método utilizado foi capaz de incorporar no modelo, elementos do mercado e governança da terra, relacionados com o desmatamento, e chegar a resultados importantes para a discussão sobre a relação entre esses elementos e o desmatamento, de forma que os objetivos deste estudo, foram alcançados.

O desenvolvimento de uma variável que representasse o valor das terras em função das principais atividades econômicas empregadas na região e de suas demandas por terra, possibilitou entender onde ela é mais valorizada. Essa variável foi representada por um índice espacial de valor da terra, o IVT. O mapa de IVT foi coerente com a literatura e com o que foi constatado em entrevistas de campo representando áreas em que a terra é mais valorizada, próximas às estradas principais, em áreas já abertas e planas. A análise de sensibilidade mostrou a robustez desse índice e do método adotado para representar o valor das terras na região estudada.

Considera-se que a abordagem pela perspectiva da questão fundiária para compreender o desmatamento foi bem-sucedida neste trabalho. Dentre os fatores levantados, associados ao processo de desmatamento, as variáveis relacionadas com mercado de terras, como a variável que representou as inconsistências na declaração dos imóveis rurais (CAR) e a variável relativa aos embargos, se mostraram importantes e foram incorporadas no modelo. A presença dessas variáveis no modelo evidencia a importância dos processos relatados na literatura e em campo, sobre o acúmulo de terras, que se relaciona com os processos extensivos de produção pecuária, e com o desmatamento. Com isso, pôde-se explorar a relação entre o mercado de terra e o desmatamento.

Os resultados direcionam a discussão sobre a demanda por terra fomentada pela especulação fundiária, não apenas por processos produtivos, que pressiona as terras com florestas para serem transformadas em mercadorias, tornando-as mais atrativas, a partir da abertura dessas áreas. As áreas embargadas, entretanto, denotaram um comportamento diferente do esperado. No contexto de Novo Progresso, PA, os resultados das análises apontam que os embargos impostos pelo IBAMA, aplicados como uma política de comando e controle tiveram como efeito o aumento do desmatamento. Nessa região, o efeito observado pode ser explicado pela expectativa de regularização das terras ocupadas numa eventual desafetação da unidade de conservação Flona Jamanxim. Assim, a maior proporção de desmatamento nessas áreas pode representar uma resposta aos embargos, sinalizando resistência dos ocupantes e sua pretensão de permanecer na terra.

A incorporação de fatores associados ao mercado de terras na análise do desmatamento realizada neste estudo, explicita a forma com que os sistemas econômicos extensivos são desenvolvidos em regiões de fronteira. Os resultados obtidos reforçam que nesses sistemas, o acúmulo de terras e o desmatamento, fazem parte das lógicas produtivas predominantes, em que poucos investimentos são empregados no manejo e na tecnificação da produção, sendo necessário incorporar cada vez mais terras para a expansão das atividades econômicas e para o aumento da produção, resultando em formas pouco sustentáveis do uso dos recursos florestais e também da terra.

O modelo de regressão linear múltipla permitiu entender o processo de desmatamento na região de estudo, sobretudo, os processos locais relacionados com a demanda por terra. Em estudos futuros, recomenda-se reproduzir esta abordagem em outras regiões de fronteira agropecuária para verificar se os fatores apontados são semelhantes e se seus comportamentos são similares ou se dependem do contexto em que se encontram. A partir dos resultados obtidos com diferentes estudos de caso, torna-se possível avaliar os principais fatores associados ao desmatamento e ao mercado de terras, que

podem ser incorporados às políticas e ações de controle e combate ao desmatamento, melhorando sua eficácia.

Um caminho possível para dar maior precisão a este estudo no que se refere ao valor da terra, está na possibilidade de identificar e utilizar bases de dados pré-existentes que contenham dados sobre os valores praticados nas transações comerciais das terras para confrontar com o índice de valorização da terra desenvolvido neste estudo. Por fim, este trabalho demonstrou a viabilidade de incorporar fatores associados ao mercado de terras, ainda que muitos deles indiretos, na modelagem do desmatamento, e que normalmente não são incluídos, por um lado, devido à dificuldade na obtenção de dados e, por outro, devido à complexidade em relação a sua representação espacial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, A. P. D.; CÂMARA, G.; ESCADA, M. I. S. Spatial statistical analysis of land-use determinants in the Brazilian Amazonia: exploring intra-regional heterogeneity. **Ecological Modelling**, v. 209, n. 2/4, p. 169–188, 2007.
- ALMEIDA, C. A.; COUTINHO, A. C.; ESQUERDO, J. C. D. M.; ADAMI, M.; VENTURIERI, A.; DINIZ, C. G.; DESSAY, N.; DURIEUX, L.; GOMES, A. R. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. **Acta Amazonica**, v. 46, n. 3, p. 291–302, 2016.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; LEONARDO, J. M. G.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ALVES, P. A.; AMARAL, S.; MONTEIRO, A. M. V.; ESCADA, M. I. S. **Explorando as relações entre a dinâmica demográfica, estrutura econômica e mudanças no uso e cobertura da terra no sul do Pará: relatório técnico de atividade de pesquisa do Projeto GEOMA - Componente de Dinâmica de População e Assentamentos Humanos**. São José dos Campos: INPE, 2008.
- AMARAL, S.; BRIGATTI, N.; DAL'ASTA, A. P.; ESCADA, M. I. S.; SOARES, F. DA R. **"Tem fofoca na currutela": núcleos urbanizados e uso da terra de Alta Floresta (MT) ao Crepurizão (PA) na transgarimpeira**. São José dos Campos: INPE, 2012. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3BBJ3K5>>.
- ANSELIN, L. Local Indicators of Spatial Association—LISA. **Geographical Analysis**, v.27, n.2, p.93-115, 1995.
- BANON, L. C.; NOVO, E. M. L. M. **Extração da rede de drenagem da Bacia Amazônica por um processo de mineração de dados utilizando MDE-SRTM e avaliação do resultado em aplicações nas áreas de geomorfologia, geologia, ec hidrologia e distribuição de espécies (projeto FAPESP 2016/13462-0)**. 2018. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/amazondrainage>>. Acesso em: 21 dez. 2018
- BECKER, B. K. **Amazônia**. [S.l.]: Ática, 1990. v. 192
- BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 71–86, 2005.
- BENATTI, J. H.; TRECCANI, G. D.; FISCHER, L. R. DA C. **Draft report on land governance for the LGAF-Pará**. Belém, PA. 2013. Disponível em: <http://siteresources.worldbank.org/INTLGA/Resources/Final_Report_Para.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2019.

BRANDÃO JÚNIOR, A. O.; SOUZA JÚNIOR, C. M. Mapping unofficial roads with Landsat images: a new tool to improve the monitoring of the Brazilian Amazon rainforest. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 1, p. 177–189, 2006.

BRASIL. **Decreto de 18 de fevereiro de 2005**: estabelece limitação administrativa provisória nas áreas que especifica da região de entorno da BR-163, no Estado do Pará, nos termos do art. 22-A da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Brasília, DF: Presidência da República, 2005. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Dnn/Dnn10452.htm>.

BRASIL. **Decreto de 13 de fevereiro de 2006**: institui o complexo geoeconômico e social denominado Distrito Florestal Sustentável - DFS da BR-163, e dá outras providências. Brasília, DF, 2006a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Dnn/Dnn10766.htm>.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA Nº 406 de 02 de fevereiro de 2009**. Brasília, DF: MMA, 2009.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Instrução normativa no 2/MMA, de 06 de maio de 2014**. Brasília, DF: MMA, 2014. Disponível em: <<http://www.car.gov.br>>

BRASIL. **Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012**: dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília, DF: 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>.

BRASIL. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm)**. Brasília, DF: MMA, 2018. Disponível em: <[https://www.mma.gov.br/images/arquivo/80120/Anexo II - PLANO OPERATIVO DO PPCDAm - GPTI _ p site.pdf](https://www.mma.gov.br/images/arquivo/80120/Anexo%20II%20-%20PLANO%20OPERATIVO%20DO%20PPCDAm%20-%20GPTI%20_%20p%20site.pdf)>.

BRASIL, MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. **Mercados de terras no Brasil**: estrutura e dinâmica. Brasília: Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural, 2006b. 444 p.

BRITO, B.; BARRETO, P.; BRANDÃO, A. J.; BAIMA, S.; GOMES, P. H. Stimulus for land grabbing and deforestation in the Brazilian Amazon Stimulus for land grabbing and deforestation in the Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**, n. 14, p. 8, 2019.

CAMARA, G. Amazonian deforestation models. **Science**, v. 307, n. 5712, p. 1043c-1044c, 2005.

CAPANEMA, P.; FARIAS PINHEIRO, T.; ESCADA, M. I. S.; SANT'ANNA, S. J. S. Mapeamento de padrões de intensidade da degradação florestal: estudo de caso na região de Sinop, Mato Grosso. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 1, p. 199–225, 2018.

CAPANEMA, V. P. **Fatores de degradação florestal atuantes em diferentes estágios da fronteira agropecuária na Amazônia: estudo de caso na região de sinop, MT**. 2017. 123 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2017. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3PCNC2S>>. Acesso em: 18 jul. 2018.

CARRERO, G. C.; FEARNSIDE, P. M. Forest clearing dynamics and the expansion of landholdings in Apuí, a deforestation hotspot on Brazil's Transamazon Highway. **Ecology and Society**, v. 16, n. 2, 2011.

CASTRO, E. R.; MONTEIRO, R.; CASTRO, C. P. **Atores e relações sociais em novas fronteiras na Amazônia**. Belém: [s.n.], 2002.

COSTA, F. D. A. Trajetórias tecnológicas como objeto de política de conhecimento para a Amazônia : uma metodologia de delineamento. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 8, n. 1, p. 35–86, 2009.

COSTA, F. D. A. Mercado de terras e trajetórias tecnológicas na Amazônia. **Economia e Sociedade**, v. 21, n. 2, p. 245–273, 2012.

COSTA, F. A. Contributions of fallow lands in the Brazilian Amazon to CO2 balance, deforestation and the agrarian economy: inequalities among competing land use trajectories. **Elementa: Science of the Anthropocene**, v.4, p. 133, 2016.

COSTA, F. A.; FERNANDES, D. A. Dinâmica agrária, instituições e governança territorial para o desenvolvimento sustentável da Amazônia. **Revista de Economia Contemporânea**, v. 20, n. 3, p. 517–518, 2016.

CUNHA, C. N. Pintou uma chance legal o programa Terra Legal no interior dos projetos integrados de colonização e do polígono desapropriado de Altamira, no Pará. **Agrária**, São Paulo, n. 10/11, p. 20–56, 2009.

DAL'ASTA, A. P.; SOUZA, A. R.; PINHO, C. M. D.; SOARES, F. R.; REGO, G. F. J.; SIQUEIRA, J. M.; ESCADA, M. I. S.; BRIGATTI, N.; AMARAL, S.; CAMILOTTI, V. L.; DÓRIA, V. E. M.; COSTA, L. C. **As comunidades de terra firme do sudoeste do Pará: população, infraestrutura, serviços, uso da terra e conectividades. expedição de campo 2013 versão atualizada**. São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3PAAHQ5>>.

DUARTE, V.; SHIMABUKURO, Y. E.; SANTOS, J. R.; MELLO, E. M. K.; MOREIRA, J. C.; MOREIRA, M. A.; SOUZA, R. C. M.; SHIMABUKURO, R. M. K.; FREITAS, U. M. **Metodologia para criação do PRODES digital e do banco de dados digitais da Amazônia: Projeto BADDAM**. São José dos Campos: INPE, 1999. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1912/2005/07.19.21.12.27/doc/publicacao.pdf>>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **TerraClass: uso e cobertura da terra na Amazônia Legal**. Disponível em: <<https://www.terraclass.gov.br/webgis/home.html>>. Acesso em: 25 jul. 2019.

ESCADA, M. I. S.; AMARAL, S.; RENNÓ, C. D.; PINHEIRO, T. F. **Levantamento do uso e cobertura da terra e da rede de infraestruturas no distrito florestal da BR-163**. São José dos Campos: INPE, 2009. Disponível em: <sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/04.24.14.45>.

ESPINDOLA, G. M.; AGUIAR, A. P. D.; PEBESMA, E.; CÂMARA, G.; FONSECA, L. Agricultural land use dynamics in the Brazilian Amazon based on remote sensing and census data. **Applied Geography**, v. 32, n. 2, p. 240–252, 2012.

ESPINDOLA, G. M.; PEBESMA, E.; CÂMARA, G. **Spatio-temporal regression models for deforestation in the Brazilian Amazon**. 2008. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/638e/f8e4afce3d502de56bb7642b200a5ebe9144.pdf>.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento e desenvolvimento agrícola na Amazonia brasileira. In: LÉNA, P.; OLIVEIRA, A. E. (Ed.). **Amazônia: a fronteira agrícola 20 anos depois**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1991. p.207-222.

FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A.; KEIZER, E. W. H.; MALDONADO, F. D.; BARBOSA, R. I.; NOGUEIRA, E. M. Modelagem de desmatamento e emissões de gases de efeito estufa na região sob influência da rodovia Manaus-Porto Velho (BR-319). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 208–233, 2009.

FERNANDES, V. B.; MORGAN, T. A. Debilidade da governança de terras no Brasil: o caso do Pará. In: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. **Governança de terras: da teoria à realidade brasileira**. Brasília: FAO, 2017. p.281-300.

FERRO, A. B.; CASTRO, E. R. Determinantes dos preços de terras no Brasil: uma análise de região de fronteira agrícola e áreas tradicionais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 51, n. 3, p. 591–609, 2013.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. **Governança de terras: da teoria à realidade brasileira**. Brasília: FAO, 2017. 378 p. ISBN(9789257099203).

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS - FGV/IBRE. **FGV dados**. Disponível em: <<http://www14.fgv.br/fgvdados20/consulta.aspx>>. Acesso em: 22 out. 2018.

GAVLAK, A. A. **Padrões de mudança de cobertura da terra e dinâmica populacional no Distrito Florestal Sustentável da BR-163**: população, espaço e ambiente. 2011. 155 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011. Disponível em: <<http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2011/08.02.16.24/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 22 maio. 2019.

GEIST, H. J.; LAMBIN, E. F. **What drives tropical deforestation?** a meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence. Louvain-la-Neuve. 2001. Disponível em: <https://www.pik-potsdam.de/members/cramer/teaching/0607/Geist_2001_LUCC_Report.pdf>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades@**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>.

INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA - AMAZON. **AmazonGeo**: geoinformação sobre a Amazônia. 2019. Disponível em: <<https://imazongeo.org.br/#/>>.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA - INCRA. **Livro branco da grilagem de terras no Brasil**. Brasília: INCRA, 1999. 41p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites**. São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/Relatorio_Prodes2008.pdf>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **GeoDMA 2.0.0**. Disponível em: <<http://wiki.dpi.inpe.br/doku.php?id=geodma>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Projeto PRODES digital**: mapeamento do desmatamento da Amazônia com Imagens de Satélite. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>>. Acesso em: 15 out. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sumário executivo:** levantamento de informações de uso e cobertura da terra na Amazônia. Belém, PA, 2011. Disponível em: <http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass.php>.

INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA (IMAZON); GRUPO DE TRABALHO PELO DESMATAMENTO ZERO; COALIZÃO PRÓ-UC; GREENPEACE BRASIL; INSTITUTO CENTRO DE VIDA (ICV); INSTITUTO DE MANEJO E CERTIFICAÇÃO FLORESTAL E AGRÍCOLA (IMAFLOA); INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA (IPAM); INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA (IMAZON); INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL (ISA); REDE PRÓ-UCS; THE NATURE CONSERVANCY (TNC) BRASIL; WWF-BRASIL. **Por que o Congresso deve rejeitar projeto que aumentará o desmatamento da Amazônia?** 2017. Disponível em: <http://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/dossiebrasil_v9_2.pdf>.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Specialreport on climate change and land.** Genebra: IPCC, 2019.

JENKS, F. G. The data model concept in statistical mapping. **International Yearbook of Cartography**, v. 7, p. 186–190, 1967.

LAMBIN, E. F. **Modelling deforestation processes a review.** Minneapolis: University of Minnesota, 1994.

LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J.; LEPERS, E. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. **Annual Review of Environmental and Resources**, v. 28, p. 205–246, 2003.

LAURANCE, W. F.; ALBERNAZ, A. K. M.; SCHROTH, G.; FEARNSIDE, P. M.; BERGEN, S.; VENTICINQUE, E. M.; COSTA, C. Predictors of deforestation in the brazilian Amazon. **Journal of Biogeography**, v. 29, n. 5/6, p. 737–748, 2002.

LAURANCE, W. F.; COCHRANE, M. A.; BERGEN, S.; FEARNSIDE, P. M.; DELAMÔNICA, P.; BARBER, C.; D'ANGELO, S.; FERNANDES, T. The future of the brazilian Amazon. **Science**, v. 291, n. 5503, p. 438–439, 2001.

LEGENDRE, P. Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm? **Ecology**, v. 74, n. 6, p. 1659–1673, 1993.

LUDEWIGS, T.; D'ANTONA, A. O.; BRONDÍZIO, E. S.; HETRICK, S. Agrarian structure and land-cover change along the lifespan of three colonization areas in the brazilian Amazon. **World Development**, v. 37, n. 8, p. 1348–1359, 2009.

MARGULIS, S. **Causas do desmatamento da Amazônia brasileira.** [S.l.]: Banco Mundial, 2003. ISBN 8588192101.

MAURANO, L. E. P. **Avaliação da qualidade dos dados PRODES: estimativa e regionalização dos erros de mapeamento**. 2018. 96 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2018. Disponível em:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3RL377B>>. Acesso em: 8 jul. 2019.

MCGARIGAL, K. **FRAGSTATS help**. Amherst. 2015. Disponível em:

<<https://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/fragstats.help.4.2.pdf>>.

MCGARIGAL, K.; CUSHMAN, S. A.; ENE, E. **FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for categorical maps**. Amherst: University of Massachusetts, 2012. Disponível em:

<<https://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>>. Acesso em: 12 jul. 2018.

MERTENS, B.; POCCARD-CHAPUIS, R.; PIKETTY, M. G.; LACQUES, A. E.; VENTURIERI, A. Crossing spatial analyses and livestock economics to understand deforestation processes in the Brazilian Amazon: the case of São Félix do Xingú in South Pará. **Agricultural Economics**, v. 27, n. 3, p. 269–294, 2002.

NETER, J.; KUTNER, M. H.; NACHTSHEIM, C. J.; WASSERMAN, W. **Applied linear statistical models**. 4.ed. Boston, MA: McGraw-Hill, 1996. 1408 p. ISBN 978-0256117363.

OLIVEIRA, N. A. P.; FERREIRA, L. R. Determinantes do preço da terra no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, v. 23, n. 4, p. 58–75, 2015.

OMETTO, J. P.; AGUIAR, A. P. D.; MARTINELLI, L. A. Amazon deforestation in Brazil: effects, drivers and challenges. **Carbon Management**, v. 2, n. 5, p. 575–585, 2011.

PEREIRA, L. C. **Aptidão agrícola das terras e sensibilidade ambiental: proposta metodológica**. 2002. 135p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas 2002. Disponível em:

<<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/13797/1/PereiraL.C1.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2018.

PEREIRA, L. C.; LOMBARDI NETO, F. Avaliação da aptidão agrícola das terras: proposta metodológica. **Embrapa Documentos**, n. 43, p. 36, 2004.

PERZ, S.; SKOLE, D. L. Social determinants of secondary forests in the Brazilian Amazon. **Social Science Research**, v. 32, n. 1, p. 25–60, 2003.

PESCADOR, C. M. M.; LISBOA, G. S.; STEPKA, T. F.; KURCHAITD, S. M. Segurança do trabalho na colheita florestal: resultados iniciais. **Revista Ambiência**, v. 9, n. 2, p. 397–410, 2013.

PINHEIRO, T. F. **Padrões e trajetórias de degradação florestal em fronteiras madeireiras da Amazônia**. 2015. 207p. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.

PLATA, L. E. A. Dinâmica do preço da terra rural no Brasil: uma análise de co-integração. In: REYDON, B. P.; CORNÉLIO, F. N. M. (Org.). **Mercados de terras no Brasil: estrutura e dinâmica**. Brasília, DF: NEAD, 2006. p. 125–154.

PLATA, L. E. A.; SPAROVEK, G.; REYDON, B. P.; GOLDSZMIDT, R. G. B.; MAULE, R. Metodologia para determinar e prever o preço da terra em mercados específicos: o caso de uma Zona Homogênea do Maranhão. In: CONGRESSO DA SOBER, 43., Ribeirão Preto. 2005. **Anais...** Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/2/568.pdf>>. Acesso em: 13 fev. 2019.

RAZERA, A. **Dinâmica do desmatamento em uma nova fronteira do sul do Amazonas**: uma análise da pecuária de corte no município do Apuí. 2005. 109 p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2005. Disponível em: <https://bdtd.inpa.gov.br/bitstream/tede/1852/5/Dissertacao_Allan_Razera.pdf>. Acesso em: 7 ago. 2019.

REYDON, B. P. O desmatamento da floresta amazônica: causas e soluções. **Política Ambiental/Conservação Internacional**, v. 8, p. 143–155, 2011.

REYDON, B. P.; PLATA, L. E. A. O Plano Real e o mercado de terras no Brasil: lições para a democratização do acesso a terra. n: REYDON, B. P.; CORNÉLIO, F. N. M. (Org.). **Mercados de terras no Brasil: estrutura e dinâmica**. Brasília: NEAD, 2006. p.267-284.

REYDON, B. P.; PLATA, L. E. A.; BUENO, A. K.; ITRIA, A. **A relação inversa entre a dimensão e o preço da terra rural**: um estudo econométrico para o Brasil. Cuiabá, MT. 2004. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/12/110486.pdf>>. Acesso em: 13 fev. 2019.

ROCHA, G. M.; GONÇALVES, S. F. E S. Confins considerações sobre a federalização e a gestão compartilhada do território na Amazônia brasileira. **Revista Franco-Brasileira de Geografia**, v. 30, n. 1, p. 1–17, 2017.

RODRIGUES, H. O.; SOARES-FILHO, B. S.; COSTA, W. L. D. S. Dinâmica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 3089–3096.

ROITMAN, I.; CARDOSO GALLI VIEIRA, L.; BAIOCCHI JACOBSON, T. K.; DA CUNHA BUSTAMANTE, M. M.; SILVA MARCONDES, N. J.; CURY, K.; SILVA ESTEVAM, L.; DA COSTA RIBEIRO, R. J.; RIBEIRO, V.; STABILE, M. C. C.; DE MIRANDA FILHO, R. J.; AVILA, M. L. Rural environmental registry: an innovative model for land-use and environmental policies. **Land Use Policy**, v. 76, p. 95–102, 2018.

RORIZ, P. A. C.; YANAI, A. M.; FEARNSIDE, P. M. Deforestation and carbon loss in southwest Amazonia: impact of Brazil's revised forest code. **Environmental Management**, v. 60, n. 3, p. 367–382, 2017.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v.1, n.1, p.83-98, 2008.

Disponível em: <

<https://pdfs.semanticscholar.org/e3c5/61049eb532e328fc2b8288c490986cd9403f.pdf> >. Acesso em: 16 jul. 2018.

SAITO, E. A. **Caracterização de trajetórias de padrões de ocupação humana na Amazonia Legal por meio de mineração de dados**. 2011. 160p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.

SAITO, É. A.; FONSECA, L. M. G.; ESCADA, M. I. S.; KORTING, T. S. Efeitos da mudança de escala em padrões de desmatamento na Amazônia. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 63, n. 3, p. 401–414, 2011.

SANTOS, H. G. R.; SILVA, J. A. M.; SÁ, L. A. C. M.; PORTUGAL, J. L. Efeitos espaciais em mercados de terras rurais: modelagem, validação e avaliação de desempenho. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 4, p. 759–777, 18 abr. 2016.

SILVA, A. C. D. O.; FONSECA, L. M. G.; KÖRTING, T. S. A multitemporal approach for land use mapping using Bayesian Networks. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO -SBSR, 18., 2017, Santos.

Anais... São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em:

<<http://maps.lapig.iesa.ufg.br/>>.

SIMMONS, C. S. The political economy of land conflict in the eastern Brazilian Amazon. **Annals of the Association of American Geographers**, v.94, n.1, p.183-206, mar. 2004. Disponível em:

<<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1111/j.1467-8306.2004.09401010.x>>.

Acesso em: 17 jun. 2019.

SOARES-FILHO, B.; ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; CERQUEIRA, G.; DEL CARMEN VERA DIAZ, M.; RIVERO, S.; SOLÓRZANO, L.; VOLL, E. Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém-Cuiabá corridor. **Global Change Biology**, v. 10, n. 5, p. 745–764, 2004.

SOARES-FILHO, B. S.; COUTINHO CERQUEIRA, G.; LOPES PENNACHIN, C. DINAMICA - a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **Ecological Modelling**, v. 154, n. 3, p. 217–235, 2002.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L. M.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P. Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**, v. 440, n. 7083, p. 520–523, mar. 2006.

SOLER, L. S.; ESCADA, M. I. S.; VERBURG, P. H. Quantifying deforestation and secondary forest determinants for different spatial extents in an Amazonian colonization frontier (Rondonia). **Applied Geography**, v. 29, n. 2, p. 182–193, 2009.

TORRES, M.; DOBLAS, J.; ALARCON, D. F. **Dono é quem desmata: conexões entre grilagem e desmatamento no sudoeste paraense**. Altamira, Pará: IAA, 2017. Disponível em: <https://www.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/nsa/arquivos/dono_e_quem_desmata_conexoes_entre_gril1.pdf>.

VALERIANO, D. M.; ESCADA, M. I. S.; CÂMARA, G.; KAMPEL, S. A.; MAURANO, L. E. P.; ALMEIDA, C. A.; MONTEIRO, A. M. V. Dimensões do Desmatamento na Amazônia Brasileira. In: MARTINE, G. (Ed.). **População e sustentabilidade na era das mudanças ambientais globais: contribuições para uma agenda brasileira**. Belo Horizonte: ABEP, 2012.

VERBURG, R.; RODRIGUES FILHO, S.; LINDOSO, D.; DEBORTOLI, N.; LITRE, G.; BURSZTYN, M. The impact of commodity price and conservation policy scenarios on deforestation and agricultural land use in a frontier area within the Amazon. **Land Use Policy**, v. 37, p. 14–26, 2014.

VIEIRA, S.; CAMARGO, P. B.; SELHORST, D.; DA SILVA, R.; HUTYRA, L.; CHAMBERS, J. Q.; BROWN, I. F.; HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; WOFESY, S. C.; TRUMBORE, S. E.; MARTINELLI, L. A. Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forests. **Oecologia**, v. 140, n. 3, p. 468–479, 2004.

XIMENES, A. C.; ALMEIDA, C. M.; AMARAL, S.; ESCADA, M. I. S.; AGUIAR, A. P. D. Modelagem dinâmica do desmatamento na Amazonia. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 14, n. 3, p. 370–391, 2008.

APÊNDICE A - ROTEIROS DE PERGUNTAS USADOS NAS ENTREVISTAS EM CAMPO

INSTITUIÇÕES

Secretaria de Agricultura

1. Informações básicas:
(1) Data e Local; (2) Nome do Entrevistador; (3) Nome do entrevistado; (4) Cargo e contato; (5) Formação.
2. Panorama da atuação do Sindicato - área de atuação e região geográfica. Quais as principais atividades do Sindicato junto aos trabalhadores rurais e as principais questões que o Sindicato tem atuado?
3. Quem são os associados (perfil dos associados)? (número de associados); % de comunidades com associados (número de delegados sindicais)
4. De um modo geral, qual o perfil de quem mora no campo atualmente? E quem reside no campo, qual a principal fonte de renda?
5. Mobilidade no campo: na região de atuação do Sindicato, o campo tem "atraído" (de ONDE e POR QUE?) ou "tem provocado o abandono" (PARA ONDE e POR QUE?) a população? (Educação, saúde, Luz para todos?)
6. O Sindicato disponibiliza suplementos e equipamentos agrícolas para auxiliar o trabalhador? E orientação e cursos de capacitação (tanto para homens quanto para mulheres)?
7. Há financiamentos - públicos ou privados - de infraestrutura para as fazendas? Se sim, quais investimentos e de qual tipo e para quais tipos de fazendas (P, M, G - gado, soja, roça, etc.)?
8. Na área de atuação do sindicato, há locais com conflitos de interesses (tensão por terras; áreas protegidas; etc.)? POR QUE? Como o Sindicato tem tentado mediar essas questões?
9. Quanto a regularização de terras, qual a situação na área de atuação do Sindicato (titulação)? (Mais para NP) Qual a proporção de terras com título? a maioria é de que tipo (Tamanho das fazendas) - lembrar de aferir o que e P, M e G. Para eles quem tem 1000 ha é médio. Nas áreas não regularizadas qual é o tipo de uso da terra predominante? Qual região tem mais terra regularizada? Qual tem menos?
10. Qual o valor das terras na região? O que valoriza a propriedade? Tem aumentado a procura por terras na região?

11. Qual o preço da terra (preço/ha, se possível)? Em áreas de Floresta em pé, em área recentemente desmatada, em área de pastagem, em área de vegetação secundária, em área com agricultura anual, em área de conflito (Flona, por exemplo), em áreas onde tem afloramento rochoso, nas áreas próximas da rodovia, em áreas próximas do rio, em áreas em que há conflitos?
12. Como os produtores rurais percebem ou sentem os efeitos das unidades de conservação? Há produtores sindicalizados com terras nas UCs? quantos? (em caso afirmativo, há demandas específicas destes para o Sindicato? (tem pequenos com representatividade no sindicato)
13. Quais as principais demandas que chegam até o Sindicato? E quais os entraves que o Sindicato encontra para auxiliar os trabalhadores rurais?
14. Com a expansão da pecuária e do agronegócio, como o Sindicato avalia a situação dos pequenos produtores? Eles foram impactados, sofrem algum tipo de pressão? Se beneficiaram com a infraestrutura? Estão vendendo suas terras? Foram incluídos no sistema de produção, sendo contratados ou aderindo a alguma dessas atividades?
15. Como o Sindicato avalia a situação do homem do campo hoje? (Quais seriam as alternativas?) Quais os principais problemas enfrentados por quem mora no campo? E quanto ao futuro, quais as perspectivas do sindicato?

INCRA

- 1. Informações básicas:**
(1) Data e Local; **(2)** Nome do Entrevistador; **(3)** Nome do entrevistado; **(4)** Cargo e contato; **(5)** Formação.
2. Qual é a unidade e qual a região de abrangência da unidade?
3. Qual a principal atuação do INCRA na região de Novo Progresso?
4. Como funciona a criação e delimitação dos assentamentos pelo INCRA?
5. O INCRA tem criado assentamentos na região? Quando e por quê foram criados os assentamentos?
6. Quais assentamentos foram criados mais recentemente? De que tipo? Em que ano? Qual o tamanho dos Lotes? O dado de lotes está disponível (Shape, tabelas)? Tem planos de criar mais algum tipo de Projeto de assentamento na região?
7. Como o INCRA lida com os assentamentos em unidades de conservação?

8. Como o INCRA tem atuado no georreferenciamento dos imóveis rurais? Qual a proporção dos imóveis já georreferenciados? Tem realizado o georreferenciamento de pequenos imóveis como prevê a lei?
9. O INCRA tem auxiliado na titulação dos imóveis rurais? Como?
10. Como é a relação do trabalho do INCRA com o registro dos imóveis nos cartórios? Como funciona?
11. Como o INCRA tem lidado com o problema da grilagem de terras na região? Quais são os maiores desafios?
12. O mercado de terras é afetado pelo trabalho do INCRA? Como?
13. Quais são os principais fatores para a valoração da terra na região?
14. Existem projetos emancipados na região, com terras tituladas? Qual o preço dessa terra? Ha venda das terras do INCRA que ainda não estão tituladas por meio de contrato de compra e venda?
15. Qual o preço da terra (preço/ha, se possível)? Em áreas de Floresta em pé, em áreas recentemente desmatadas, em área de pastagem, em área de vegetação secundária, em área com agricultura anual, em área de conflito (Flona, por exemplo), em área onde tem afloramento rochoso, nas áreas próximas da rodovia, em áreas próximas do rio, nos lotes do INCRA, em áreas em que há conflito.
16. Há alguma diretriz do INCRA para o uso e ocupação do solo? Como o INCRA enxerga a abertura de novas áreas para uso?
17. Quais são as principais linhas de financiamento e para quais atividades nos assentamentos do INCRA? E para as fazendas maiores?
18. Como o INCRA lida com os conflitos por terra? Qual o seu papel?

ICMBio

1. **Informações básicas:**
(1) Data e Local; (2) Nome do Entrevistador; (3) Nome do entrevistado (4) Cargo e contato. (5) Formação.
2. Qual é a unidade e qual a região de abrangência da unidade?
3. Qual a atuação e quais são os principais desafios do ICMBio na região de Novo Progresso?
4. Quais foram os principais efeitos da criação da UC na região?

5. A criação da UC ajudou a reduzir o desmatamento e a degradação em Novo Progresso?
6. Como está a negociação para a alteração dos limites das UC's?
7. Como o ICMBio lida com os imóveis rurais que estão dentro da UC, principalmente assentamentos? (por que principalmente os assentamentos?)
8. Como o ICMBio enxerga a criação de mais infraestrutura na região?
9. Na sua opinião, quais são os fatores que mais influenciam o desmatamento na região?
10. Como a comunidade local tem lidado com o trabalho do ICMBio?
11. Como o ICMBio interage com a população na UC e no entorno dela? Quais as principais atividades? Como ICMBio tem auxiliado a gestão de conflitos sobre a posse/limite das terras?
12. Como a venda/compra de terras funciona dentro da UC?
13. Como o ICMBio lida com o mercado de terras?
14. Qual o preço da terra (preço/ha, se possível)? Em áreas de Floresta em pé, em áreas recentemente desmatadas, em área de pastagem, em área de vegetação secundária, em área com agricultura anual, em área de conflito (Flona, por exemplo), em área onde tem afloramento rochoso, nas áreas próximas da rodovia, em áreas próximas do rio, nos lotes do INCRA, em áreas em que há conflito.

PRODUTORES RURAIS

Informações básicas:

(1) Data e Local; **(2)** Nome do Entrevistador; **(3)** Nome do entrevistado **(3a)** Proprietário ou Funcionário. **(3b)** Cargo e contato. **(4)** Origem do entrevistado.

Introdução

1. Qual tamanho da propriedade (ha/km²)?
2. A área é contínua ou são 2 ou mais áreas em locais diferentes? Por que? Longe ou perto uma da outra?
3. Utiliza terra arrendada ou arrenda para outro produtor?
4. Há quanto tempo está ou possui a propriedade?

5. Como adquiriu? A propriedade é de família, projeto de assentamento?
6. Você se considera um extrativista, pequeno (familiar), médio ou grande produtor?
7. Qual a principal atividade produtiva da propriedade? Quantos hectares ?
8. E outras atividades? Quantos hectares são destinados para cada?

Agricultura

1. Quais as principais culturas perenes e quais as principais culturas anuais e quantos hectares para cada uma?
2. Há quanto tempo cultiva? Realizava outro cultivo antes? Se houve troca do cultivo, qual foi o motivo?
3. Qual motivo da escolha das culturas (econômico, viabilidade da região, influência dos vizinhos, viabilidade logística, declividades, recursos hídricos, preço da terra, área já desmatada etc.)?
4. Como é feito o plantio (direto, mecanizado, rotação, pousio etc)? Há tempo de descanso do solo? Quanto tempo e quando? (Pedir para explicar o sistema)
5. Realiza o preparo do solo? Como (mecanizado, fertilizantes etc)? Por quê?
6. Como é o manejo e colheita das culturas?
7. Quando as culturas são plantadas e como é o ciclo delas (estágios da cultura, tempo das etapas de manejo e colheita)? (entender quais as culturas estão plantadas e qual estágio em julho, agosto e setembro)
8. Utiliza sistema irrigado?

Pecuária

1. Quantas cabeças por hectares (pastagem)? Qual o total de cabeças?
2. Qual o objetivo da produção (leite ou corte)? Tem criação (cria, engorda)? Quantas cabeças para cada finalidade?
3. A produção (leite ou carne) é para atender o consumo, o mercado ou comercializa apenas o excedente?
4. Rotação de pasto (qual o tempo do gado em cada piquete)?
5. O pasto é manejado? Como é feito? (controle com plantas invasoras, adubação, queima e etc.)
6. Tem confinamento de gado?
7. Qual a alimentação do gado? Tem complementar? (Silagem, aveia, outros)

Geral

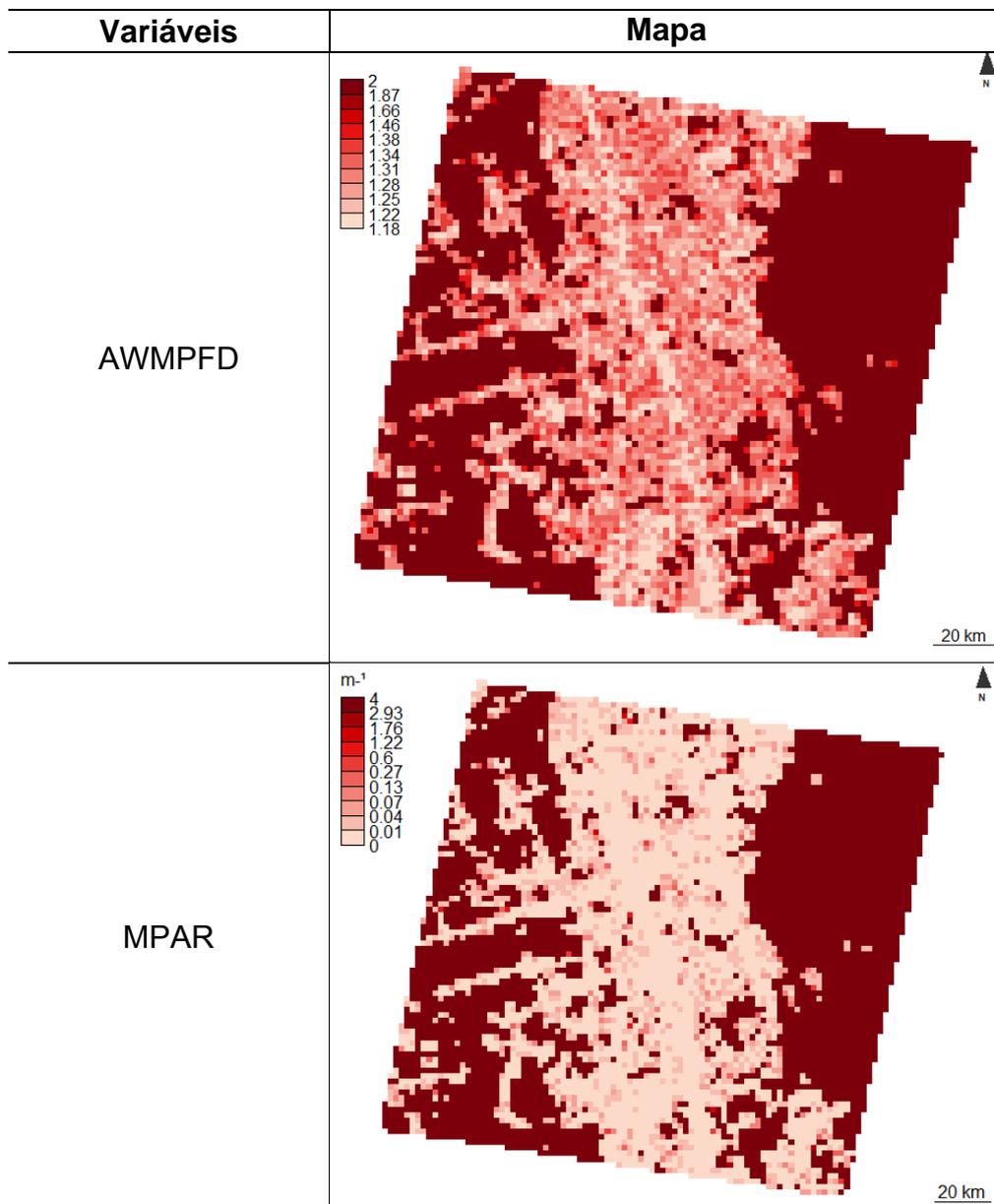
1. Utiliza mão de obra assalariada?
2. Utiliza mecanização?

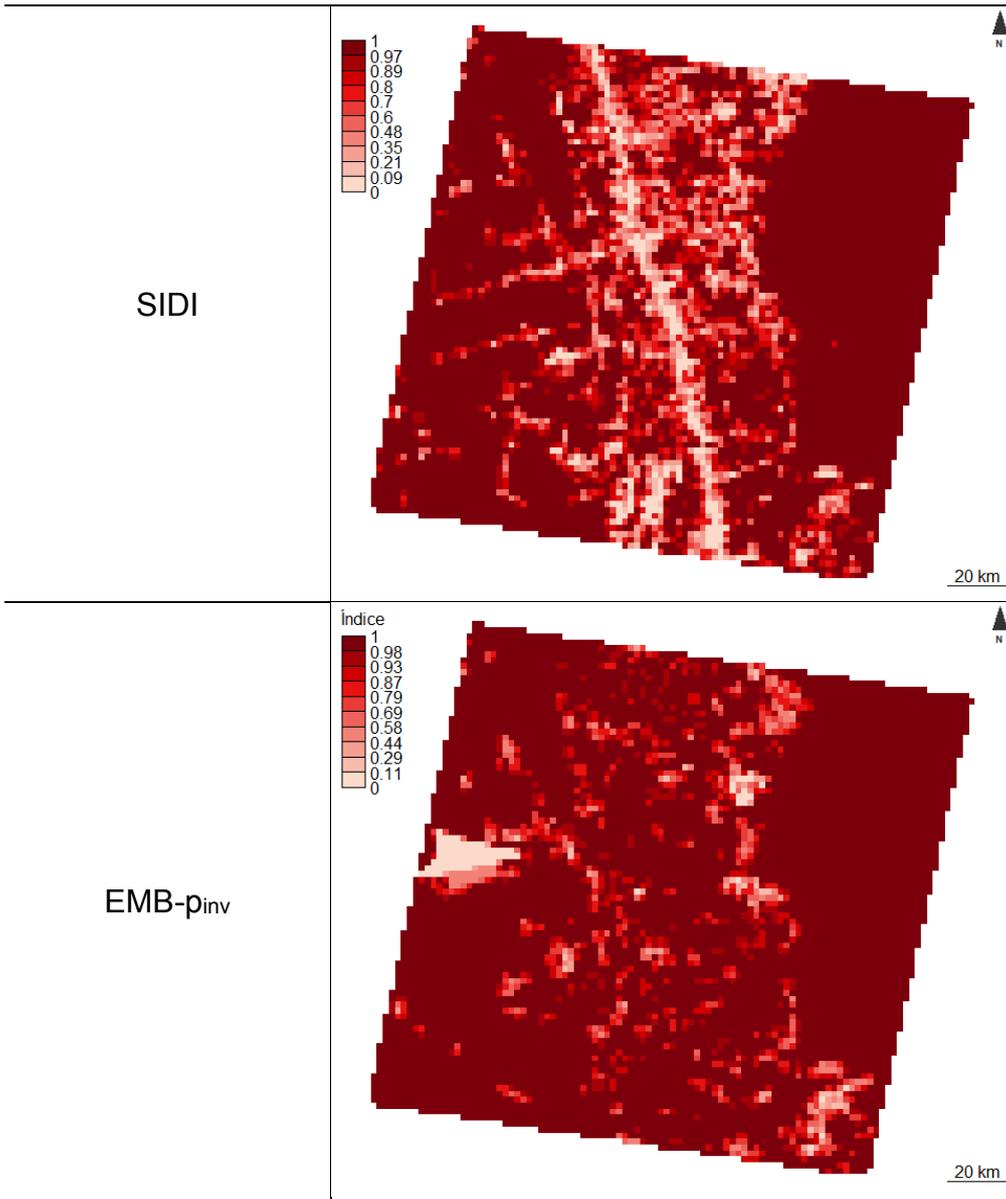
3. Observa-se o estabelecimento de novas infraestruturas (silos, estradas, energia elétrica, empresas etc)? A partir de quando? Como tem lidado com isso?
4. Tem algum tipo de assistência técnica?
5. É cooperado? Participa de alguma associação? Qual?
6. Participa de algum projeto do governo? CONAB, PAA, merenda escolar e etc?
7. Tem acesso ao crédito rural? Financiamento? Por quê?

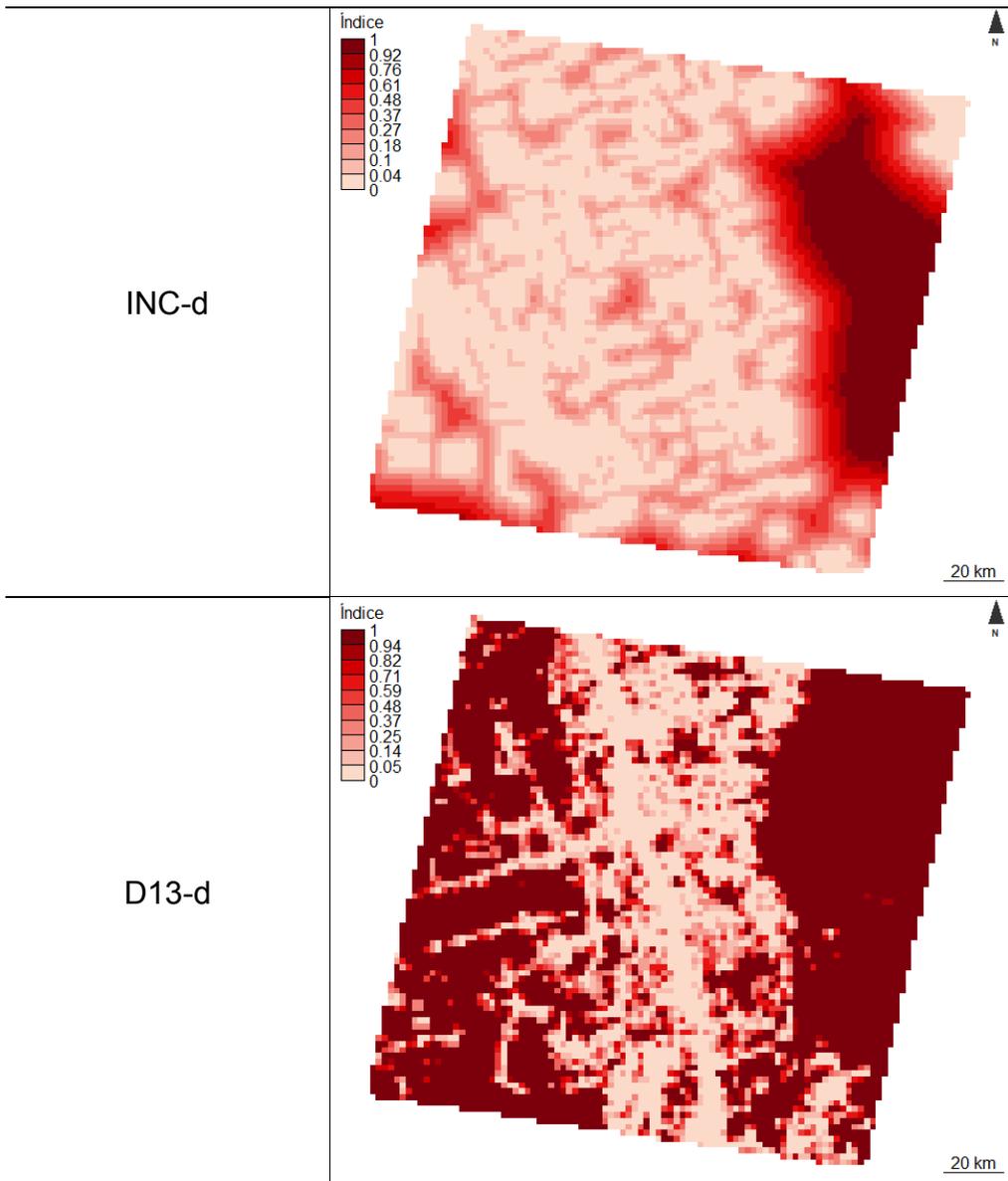
Terra

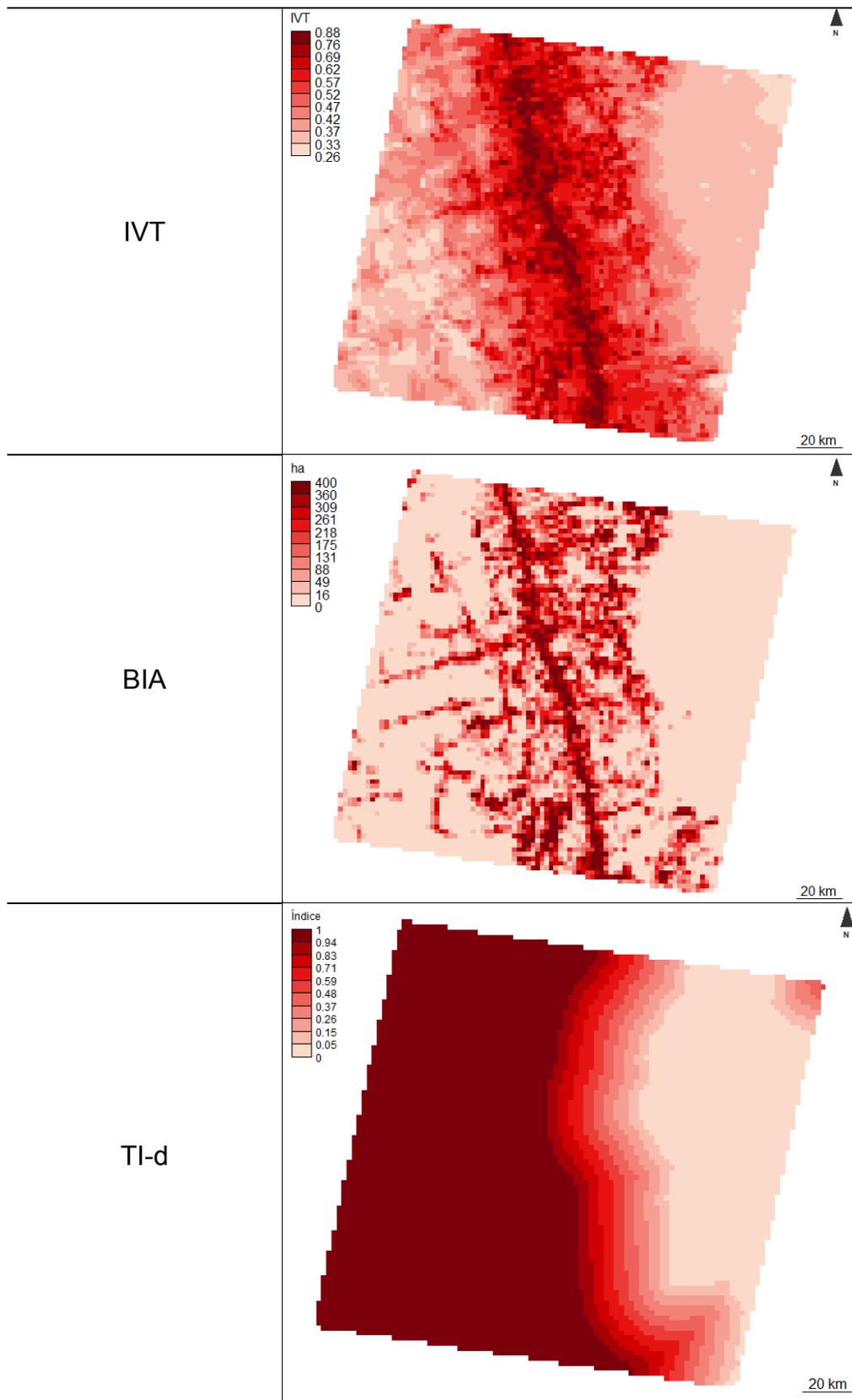
1. Qual o motivo da escolha desta terra?
2. Qual o preço da terra na região? O que mais influencia no preço?
3. Houve uma alta no preço? Quando percebeu esse aumento? Por quê acha que aumentou?
4. As terras compradas foram agregadas a partir de pequenos lotes ou desmembradas a partir de grandes propriedades?
5. Tem intenção em vender ou de expandir a terra? Qual motivo? (se sente pressionado em vender)
6. Pretende intensificar a produção, investir na mesma terra?
7. Tem interesse de permanecer nessa propriedade? por quanto tempo?
8. Há alguma possibilidade/ameaça de que você venha a perder sua terra? qual seria?
9. Você se preocupa com esta possibilidade? Quanto? de perder esta propriedade, ou parte dela, contra sua vontade nos próximos 5 anos (escala: não há com o que se preocupar, não preocupado, de certa forma preocupado, preocupado, muito preocupado)?

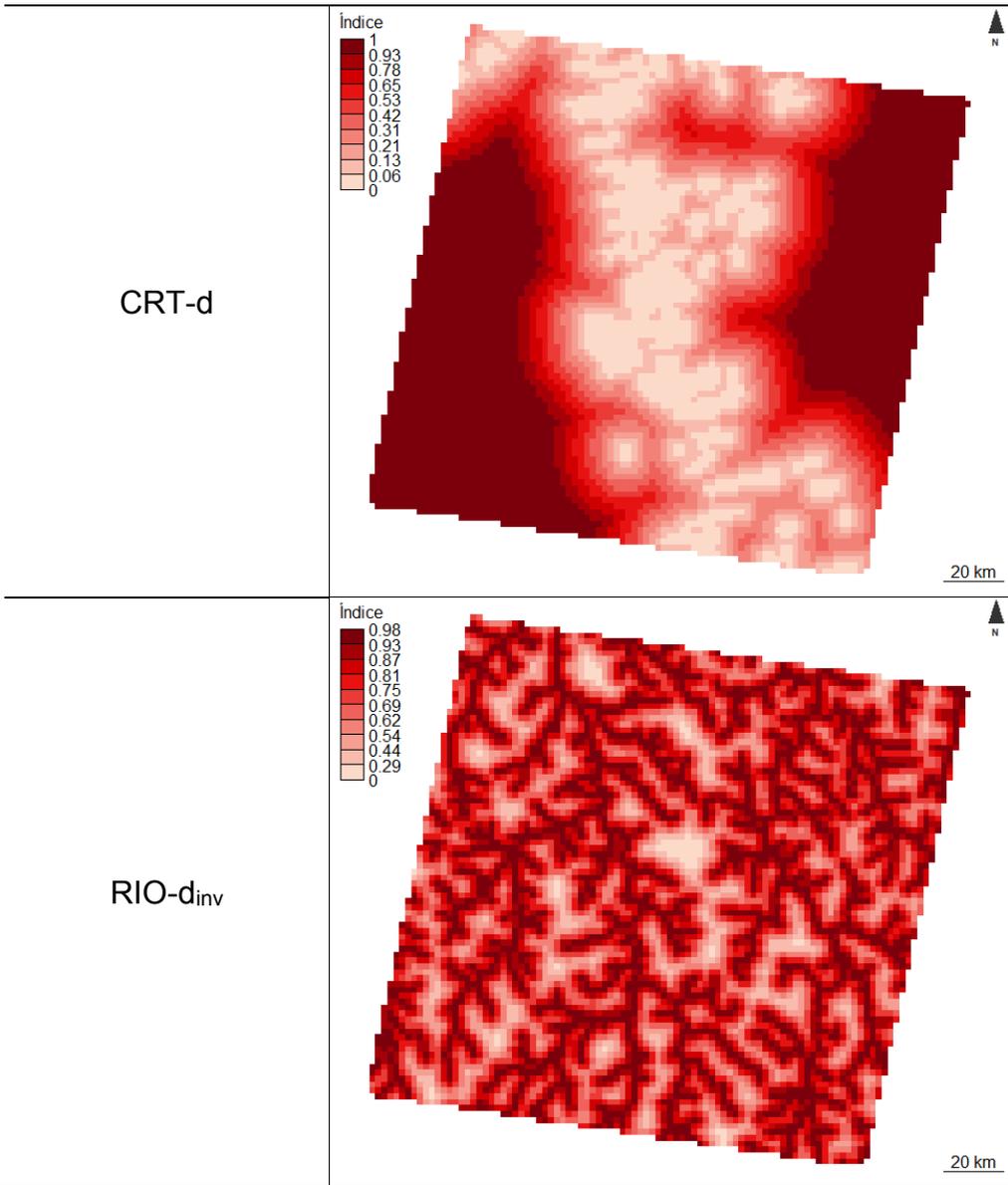
**APÊNDICE B - REPRESENTAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO MODELO DE
REGRESSÃO ESTATÍSTICA RESULTANTE NO ESPAÇO
CELULAR**

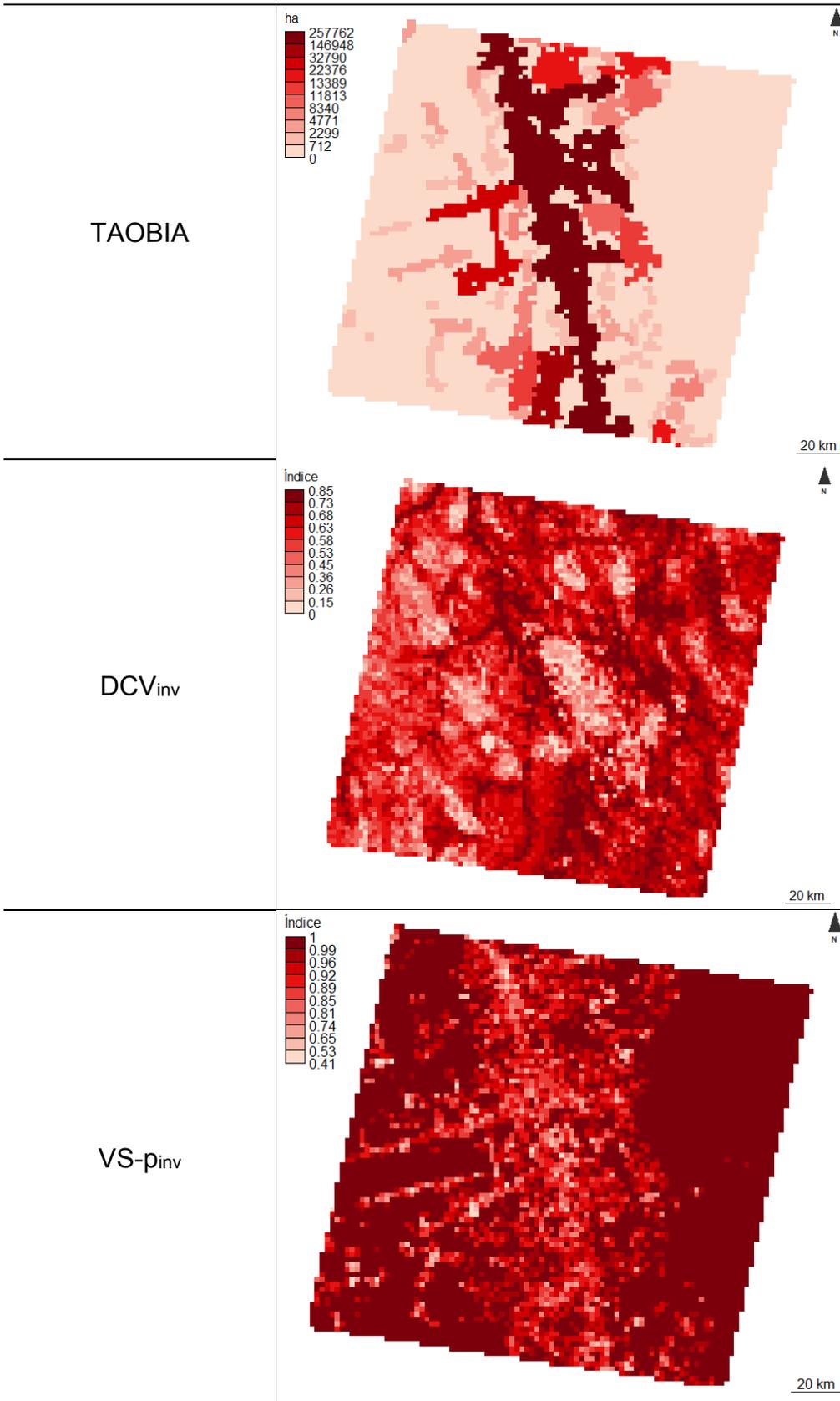












ANEXO A - MÉTRICAS CALCULADAS PELO GEODMA

Sigla	Definição	Fórmula	Amplitude	Unidade
CA	Somatória da Área dos Fragmentos	$CA = \sum_{j=1}^n a_j$	≥ 0	ha
PD	PD se refere a densidade de fragmentos (<i>Patch Density</i>) e é igual ao número de fragmentos na cpelula dividido pela área da célula em m ² depois convertido para 100 há.	$PD = \frac{n}{A} \times 10000 \times 100$	≥ 0	Número/100ha
MPS	Tamanho médio do fragmento. Igual a soma da área dos fragmentos, dividido pelo número de fragmentos.	$MPS = \frac{\sum_{j=1}^n a_j}{n} 10^{-4}$	≥ 0	ha
PSSD	Desvio padrão do tamanho dos fragmentos, que é a raiz quadrada do erro padrão dos fragmentos.	$PSSD = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (a_j - MPS)^2}{n}} 10^{-4}$	≥ 0	ha
LSI	LSI significa Índice de Forma da Paigem (<i>Landscape Shape Index</i>), que é igual à soma do limite da paisagem e todos os segmentos de borda (m) dentro do limite. Essa soma envolve o tipo de fragmento	$LSI = \frac{\sum_{j=1}^n e_j}{2\sqrt{\pi \times A}}$	≥ 1	

	correspondent e (incluindo bordas), dividido pelas duas vezes a raiz quadrada da área total da paisagem (m ²) multiplicada por pi.			
MSI	MSI significa Índice de Forma médio (<i>Mean Shape Index</i>), que é igual à soma do perímetro de patch (m) dividido por duas vezes a raiz quadrada da área de patch (m ²) multiplicada por pi para cada fragmento, dividido pelo número de fragmentos.	$MSI = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{P_j}{2 \times \sqrt{\pi \times a_j}}}{n}$	≥ 1	-
AWMSI	O AWMSI significa MSI ponderado pela área, (<i>Area-Weighted</i>) que é igual à soma do limite de paisagem e todos os segmentos de borda (m) dentro do limite. Essa soma é dividida pelas duas vezes a raiz quadrada da área total da paisagem (m ²) multiplicada por pi. Este primeiro termo	$AWMSI = \sum_{j=1}^n \left[\frac{P_j}{2 \sqrt{\pi \times a_j}} \times \frac{a_j}{\sum_{j=1}^n a_j} \right]$	≥ 1	-

	é multiplicado pela área do fragmento, dividido pela soma das áreas de todos os fragmentos.			
MPFD	Dimensão fractal média de todos os fragmentos na célula. A dimensão fractal corresponde ao grau de complexidade da forma independente da escala de análise.	$MPFD = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{2 \times \ln p_j}{\ln a_j}}{n}$		
AWMPFD	Somatória da dimensão fractal de todos os fragmentos multiplicada pela área do fragmento ponderada pela área total dos fragmentos na célula.	$AWMPFD = \sum_{j=1}^n \left[\frac{2 \times \ln p_j}{\ln a_j} \times \frac{a_j}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right]$		
ED	ED significa Densidade de Borda, que é igual à soma dos comprimentos (m) de todos os segmentos de borda, dividida pela área total da célula (m²).	$ED = \frac{\sum_{j=1}^m e_j}{A} 10^4$	≥ 0	m/ha
MPAR	MPAR significa Relação área - perímetro média (Mean Perimeter Area	$MPAR = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{p_j}{a_j}}{n}$	≥ 0	m ⁻¹

	<i>Ratio</i>), que é igual à soma das proporções entre perímetros e áreas, dividida pelo número de amostras do mesmo tipo			
PSCOV	Coefficiente de variação do tamanho dos fragmentos. Consiste na razão entre PSSD e MPS.	$PSCOV = \frac{PSSD}{MPS} \times 100$	≥ 0	
NP	Número de fragmentos presente na célula.	$NP = n$	≥ 0	
TE	Total de borda de fragmento dentro da célula	$TE = \sum_{j=0}^n e_j$	≥ 0	<i>m</i>
TABO	Área total do maior fragmento que intersecta a célula			<i>ha</i>
BIA	Maior área de intersecção na célula			<i>ha</i>
TAOBIA	Área total do fragmento com maior intersecção na célula.			<i>ha</i>
SHDI	Índice de diversidade de Shannon que expressa a diversidade de diferente classes dentro das células. Porém, a métrica é calculada apenas para uma única classe. Portanto, se tornou uma transformação	$SHDI = - \sum_{i=0}^m P_i \times \ln P_i$	≥ 0	

	logarítmica da proporção de desmatamento até 2013 dentro da célula.			
SIDI	Índice de diversidade de Simpson. Como se trata apenas de uma classe, representa uma transformação quadrática da proporção de desmatamento até 2013 dentro da célula.	$SIDI = 1 - \sum_{i=0}^m P_i^2$	$0 \leq SIDI < 1$	